

避難訓練プロブデータを用いた 地域防災教育支援ツールの構築

生富直孝¹・浅田 拓海²・Chawis Boonmee³・有村 幹治⁴

¹学生会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 環境創生工学系専攻 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)
E-mail:15041006@mmm.muroran-it.ac.jp

²正会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 暮らし環境系領域 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)
E-mail:asada@mmm.muroran-it.ac.jp

³非会員 Department of Industrial, Faculty of Engineering, Chang Mai University
E-mail:chawis_boonmee@cmu.ac.th

⁴正会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 暮らし環境系領域 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)
E-mail:arimura@mmm.muroran-it.ac.jp

本研究では、2014年9月1日に室蘭市で実施された大規模地域避難訓練（室蘭シェイクアウト）を対象に、避難行動を複数のGPSデバイスにより観測し、得られた住民の避難行動データを用いて、地域の特徴を考慮したマルチエージェントシステムを用いた避難シミュレーションを構築した。シナリオ分析の結果から、当該地区の避難における共助の重要性が評価された。以上を踏まえて、本研究の目的である地域防災教育支援ツールの開発に必要な要件の検討を行った。

Key Words: *Multi Agent Simulation, Probe Person Data, Evacuation Behavior*

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東日本大震災以降、ハード整備による防災対策だけではなく防災教育やハザードマップ作成といったソフトな減災対策も重要視されるようになった。例えば、平成27年3月に策定された国土強靱化地域計画にあたる北海道強靱化計画では、その主要重点施策として、津波避難体制の整備の促進が挙げられている。また併せて策定された北海道防災対策推進計画では、北海道内の基礎自治体における津波避難計画策定済みの市町村数を、平成25年度の63%から平成31年度までに100%にすることが明記された。

津波避難に関する既存研究は多岐に渡る。片田ら¹⁾は、現状の防災対策に見られる問題に対するシミュレーション技術の有用性を認識し、発災時刻を始めた各種シナリオ想定に基づき、被災時の地域状況を表現するシミュレーションモデルを開発した。このモデルは個人の生活行動をベースとして、災害現象の進捗状況とそれに応じた社会対応の状況を具体的に表現することで、災害時の個人または社会の状態を反映できるものであった。また倉内は²⁾、最適な避難方法を検討するためのツールとして、STEN（Space-Time-Extended Network, 時空間拡張ネットワーク）の概念を用いて、避難完了時刻を最小にするような単一モードでの最適避難計画策定モデルの構築を行った。

これは、リンクの所要時間だけでなく交通容量による移動時間の変化を考慮して、最短経路探索を行うことが可能である。モデルは自動車のみの避難を想定しており、本来の避難計画において検討すべき自動車と徒歩の混合モードには今後の課題として位置づけられている。

以上の既存研究は、主に地域全体の避難行動を評価するためのシミュレーションの構築に主眼が置かれている。そのため、地域住民の行動は外生変数として与えられており、地域住民の実際の避難行動が反映されない課題があった。

ここで本研究の目的であるが、①地域住民による避難訓練の実施、②プロブパーソン調査による避難訓練時の移動データの計測、③マルチエージェントモデルによる避難シミュレーションの構築、④地域の避難計画の評価、⑤可視化による避難リスクの共通知化、以上を一括して実施可能な、地域の実状に即した防災教育ツールの開発にある。

本研究の特徴は、実際にプロブパーソン調査により計測された後述する「室蘭市シェイクアウト」時の住民避難行動からエージェントルールを設定を行っていること、また避難意識の高い住民による地域住民への避難を呼び掛ける「声掛け」行動を共助作用として組み込み、避難行動に及ぼす影響・効果を推定していること、またシミュレーション結果の可視化を行い、

津波避難に係る防災教育の地域マネジメントサイクルを地域と協働して構築したことが挙げられる。

2. 室蘭市シェイクアウトの概要

本研究で対象エリアとした室蘭市輪西地区では北海道が平成24年6月に公表した新たな津波浸水予測結果に基づき、平成26年9月1日に市・関係機関及び地域の住民が一体となった実践的な大規模避難訓練である「室蘭市シェイクアウト」が実施された。筆者らは、防災教育と避難計画立案支援を連動させる一つの試みとして、自治体が地区単位で実施するシェイクアウトに参画し、参加者を対象に、住民の避難行動・意識をGPSデータ測定とアンケート調査により把握し、それを解析することで、地区における避難リスクを評価し、また市民にシミュレーション結果を公開することで、広く避難リスクの周知を行った。

本研究では、シェイクアウトを行うにあたって室蘭市・住民の協力のもと、GPSを25の参加機関に合計100台配布し、避難開始から終了までの移動データを計測した。回収後データのクリーニングを行い、有効なサンプル数は78となった。

またアンケートに関しては避難訓練に参加した全体の650人のうち92人から回答を得られ、GPS所持者から得られた回答数は64であった。前述の92サンプル中、完全に有効なアンケートのサンプル数は63であり、GPS所持者の有効なアンケートのサンプル数は47であった。アンケートの項目は、性別と年齢、避難行動、想定時間、地域での生活、防災意識などで構成した。

プローブパーソン調査から得られたGPSの軌跡データを用いて、動画を作成し(図-1)、避難行動を可視化した。また、速度データをもとに、住民の平均歩行速度の分布を図-2に示す。成人の平均歩行速度に比べると、遅い値に分布が出る要因としては、避難場所までが上り坂であることや、高齢であること、集団で避難していたことが挙げられる。

訓練開始からの避難開始及び避難完了者の割合の関係を図-3に示す。避難開始者割合をみると、訓練開始直後には約4割が避難を開始し、5分経過時では約2割が避難未開始であるが、10分後には9割に達することがわかる。避難完了者割合では、約8割が訓練開始後15分に避難が完了し、開始25分後にはほぼ全ての人が完了した。

アンケートでは、「避難場所までどのくらいかかると想定していたか」に対する回答が得られていることから、想定と実際の避難完了者割合の違いについて比較した。図-4に示すように、両者を比較すると、実際の避難完了者割合は想定よりも5分程度の遅れが見ら

れ、開始後5~10分では、35%程度の人が想定していたよりも避難場所への到着が遅れている結果となった。



図-1 住民の避難軌跡データ (青線)

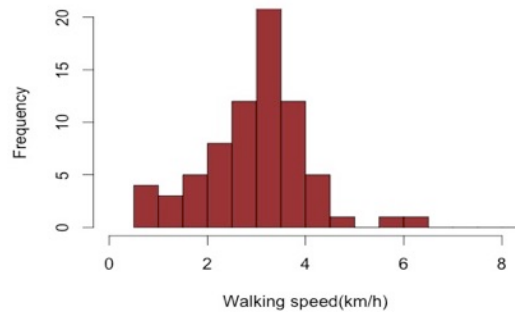


図-2 避難時における住民の平均歩行速度分布

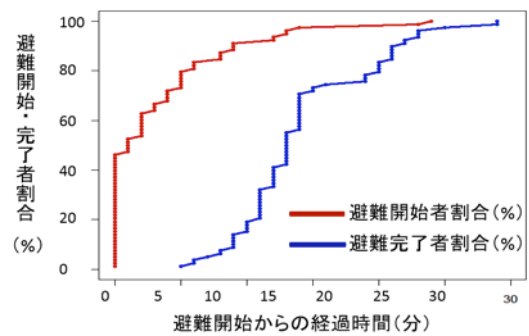


図-3 避難開始・完了者割合グラフ

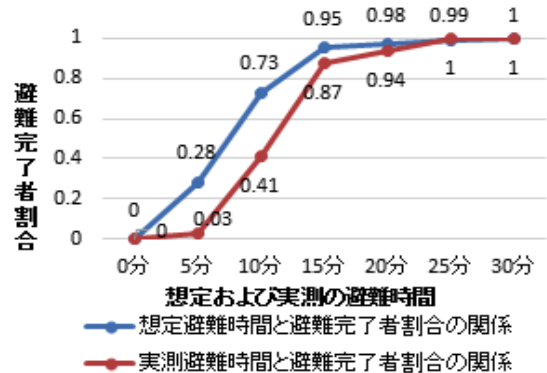


図-4 避難時間と避難完了者割合の関係

3. マルチエージェントモデルを用いたシミュレーションの概要

3.1 シミュレーション概要

マルチエージェントモデル³⁾は、個々(各エージェント)が、それぞれの行動ルールに基づいて行動した場合の全体現象を再現することに優れており、火災や地震などの災害時の避難行動シミュレーションに多く提供されている。本研究では室蘭市輪西町を対象にマルチエージェントシミュレーションを構築した。根室沖から三陸沖北部に至る断層を震源とし、マグニチュード8を超える巨大地震による大津波浸水を想定する。この津波は、警報から48分後に到達すると想定されている。この想定に基づき、本研究においてもシミュレーション時間は、48分間と設定した。

表-1地区ごとの人口及びエージェント (Agt) 配置

町名	人口	面積割合	P	Agt 数
輪西町1丁目	772	1.0	772	664
輪西町2丁目	735	1.0	735	630
みゆき町1丁目	487	0.75	365	314
みゆき町2丁目	194	1.0	194	167
大沢町2丁目	442	0.5	221	190
Leader				320
工業専用地域				654

3.2 エージェントルールの設定

3.2.1 エージェントの人数設定

エージェントは、輪西町の各地域・工業専用地域に町別世帯人口(平成26年9月末現在)・工場従業員数の数だけ代表ノード上に乱数によって発生し、これを初期状態とする。また、本研究の目的である共助を作用さ

せる避難意識の高い住民(以下、Leaderエージェント)も発生させる。

エージェントの地区分けは、輪西町1丁目・輪西町2丁目・みゆき町1丁目・みゆき町2丁目・大沢町2丁目・輪西町に隣接した工業専用地域のように区分けした。各地区の人口、エージェント配置数は表-1の通りである。なお、空間モデル上における工業専用地域は敷地全体の一部エリアとなっているが、この一部エリアに工場従業員全員が存在すると仮定しシミュレーションを行う。

面積割合とは、モデルの空間に地区を含む面積の割合を示す。表中のPは人口に面積割合を乗算したものであり、そこからLeaderの人数分を一定割合差し引いたものを最終的な発生エージェント数とする。この割合については避難訓練時に実施したアンケート結果に基づいた割合として、地区人口の14%とする。図-5にエージェントの初期配置を示す。

3.2.2 避難行動ルールについて

個々の判断に基づく行動ルールとして「避難判断確率」、「声掛けに対する応答率」を設定する。この「避難判断確率」は、避難を始めるか否かの判断を行うためのものであり、個々人のリスクに対する態度を表現する。

「避難判断確率」は、羽藤ら⁴⁾が陸前高田市で取得した避難行動データをもとに、およそ48分で100%になるように線型に変化することと仮定した。この避難判断確率 $S = (1/2880) * t$ を次章で述べるケース①、②に適用する。各エージェントが持つ乱数値 $p()$ が $p < S$ を満たすと避難移動を開始する(t はstep数(秒))。また次章で述べるケース③については、この確率を、避難訓練時におけるGPSの避難開始時刻データを用いて算出した。このデータについて図-6に示す。以上の確率を用いて避難が開始され、避難場所までは最短経路



図-5 エージェントの初期配置

で移動するものとした。

最短経路については、ノードのX座標とY座標から距離を算出し、これをリンクコストとして採用した。エージェントが空間に発生すると同時に2つの避難場所への最小総コストを計算し、よりコストの少ない避難場所を選択する。経路選択では、現在地から避難場所までの総コストと、現在地から隣接ノードまでのコストと隣接ノードから避難場所までの総コストを足し合わせた値が一致する隣接ノードへ移動する。ノードに到達したらそれを繰り返すことで、避難場所まで最短経路で移動するように設定した。

「声掛けに対する応答率」は、各ノードに発生した一般避難エージェントの上をLeaderエージェントが通過した際に「避難判断確率」を100%に引き上げて避難を開始する割合であり、100%の場合なら一般避難エージェントは声掛けを受けた時点から避難を開始する。歩行速度は、平成26年9月1日の室蘭市シェイクアウトの際に実測したGPSデータ78個から徒歩移動のみを抽出し算出した全平均速度の中央値2.762km/hを採用した。図-7にエージェントの行動フロー、図-8に避難判断確率のグラフを示す。

シミュレーション開始から経時的に避難判断確率が上昇する。個々が所有する乱数の値が避難判断確率以上である場合は基本的に待機状態であるが、Leaderエージェントが近くにいる場合のみ声掛け応答Stepが発生し、ここで再び乱数による判断が発生する。

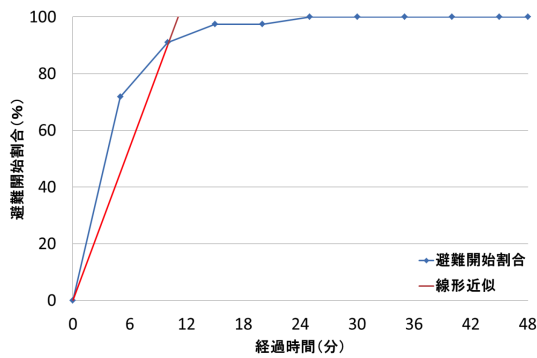


図-6 避難開始確率の実測値

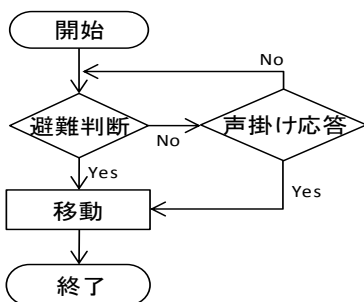


図-7 行動フロー

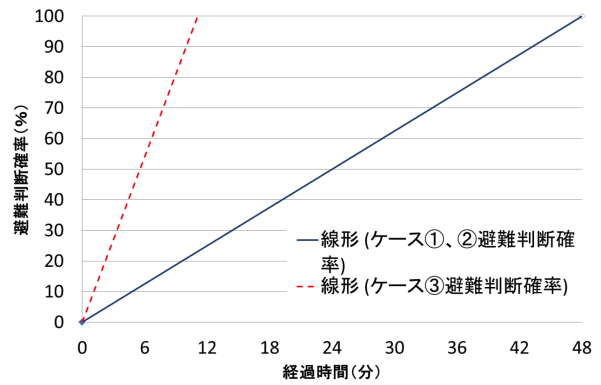


図-8 避難判断確率のグラフ

4. 対象地域におけるシミュレーション

4.1 シナリオ設定

東日本大震災に関する羽藤ら⁵⁾の調査により、地震後の避難行動の早さとして、いわゆる津波テンデコのような地震後すぐ避難を開始する場合や、地震発生後しばらくその場にとどまるケースが報告されている。本研究では、住民の避難態度として、①声掛け応答率100%、避難判断確率が48分後に100%になるケース、②声掛け応答率0%、避難判断確率が48分後に100%になるケース、③声掛け応答率100%、避難判断確率が10分後に90%になるケース(訓練時の避難確率モデル)、④避難判断確率が最初から100%になるケース(一斉避難モデル)の4通りを設定してシミュレーションを行った。それぞれのケースで避難場所に到着したエージェント数をカウントし、避難完了までの時間、避難状況を把握し、比較するものとする。

4.2 シミュレーション結果

本研究では4通りのケースについて、全体の避難未完了割合について出力した。シミュレーションの計算精度については、各ケース10回計算した結果、最も大きい標準偏差で1.38ほどである。したがって、この平均値を採用した。全ケースの避難未完了割合を図-9に示す。

ケース①、②、③、④の避難未完了者数をそれぞれ図-10、図-11、図-12、図-13に示す。ケース①は避難未完了割合が10%、ケース②は23%、ケース③は約39分で0%、ケース④は約27分で0%となった。また、声掛け応答率の有無により避難判断確率が等しいケース①、②ではシミュレーション開始から約13分で53%の差が生じた。最終的に48分間で13%の差が生じた。また図-10、図-11より、ケース①は292人、ケース②では686人の避難未完了者がいることがわかった。図-12、図-13よりケース③、④はそれぞれ38分、27分で全体避難が完了する。

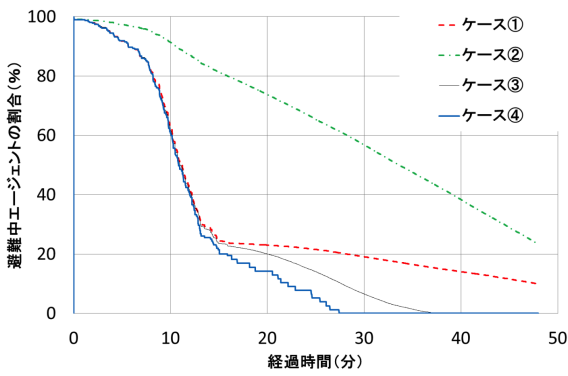


図-9 全体の避難未完了割合

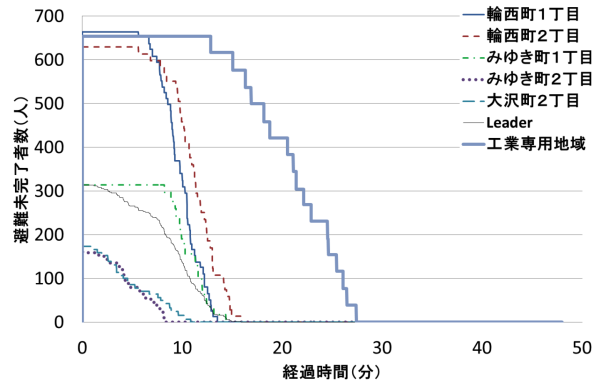


図-13 ケース④の避難未完了者数

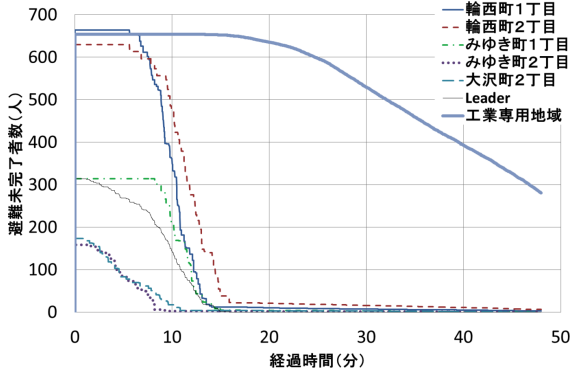


図-10 ケース①の避難未完了者数

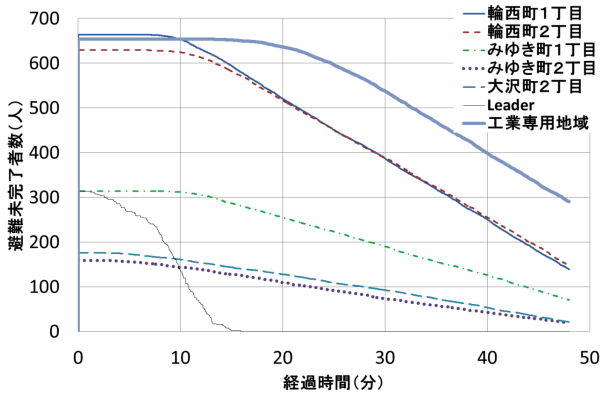


図-11 ケース②の避難未完了者数

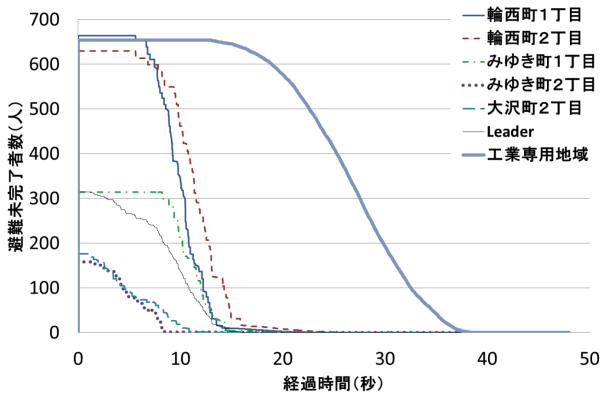


図-12 ケース③の避難未完了者数

4.3 考察

本研究では、室蘭市輪西町での避難訓練をベースにマルチエージェントシステムを用いたシミュレーションモデルを作成し、避難行動における共助の影響・効果を分析した。

図-9から、声掛け応答率の有無で避難未完了割合に差が開くことが分かった。これはLeaderエージェントによる共助作用が働いている間は、避難未完了割合は急激に落ち込み、Leaderエージェントが避難を終えると各自の避難判断確率に従うことを表わしており、最終結果にも影響を与えている。このような結果から共助作用が避難行動に与える効果は大きいといえる。また、図-7, 8からも共助作用の効果を確認できる。声掛けを行ったケース①の場合、工業専用地域以外のエージェントは17分後には98%以上が避難を完了している。一方ケース②は、Leaderエージェント以外は経過時間とともに避難判断確率が上昇するルールに従っていて、避難完了者数も394人減少し、工業専用地域だけでなく輪西地区にも避難未完了のエージェントが多数いることがわかる。このことから、Leaderエージェントの声掛けにより、いかに全体の避難完了割合に影響を与えているかが読み取ることが出来る。ケース③がケース④の一斉避難モデルに類似しているのは、避難訓練時の避難行動であり、最適な行動をとっているからであると思われる。また、工業専用地域の従業員が避難を終えていることから、住民の避難訓練時のように迅速に避難することが出来れば、津波到達前に全員が避難完了できることがわかる。

5. おわりに

本研究は、地域防災教育支援ツールの構築を目的として、シミュレーションモデルを構築して、避難行動における共助がもたらす影響・効果の評価を行った。共助、すなわち助け合いの重要性を示す指標の一つとして“声掛け”を取り上げて避難行動モデルを構築し

でシミュレーションを行い、津波の第一波到達時点で避難完了割合に13%の差が生じることを明らかにした。さらに、声掛けがないケースは逃げ遅れる人が多数発生したのに対して、声掛けがあるケースはほとんどの人が避難を完了出来ることがわかった。したがって、避難行動における共助作用は極めて重要であり、地域コミュニティの結びつきの強さは迅速な避難行動を促すことがわかる。また、従業員数など、地域に存在する人口のデータがあれば、工業専用地域等の地域を含めての評価が可能である。以上から、地域の特性を踏まえた評価をこのモデルにより行うことができた。

本モデルの課題としては、今回の工業専用地域など沿岸地域からの避難が間に合わないエージェントのフォローとして、避難所の数・位置による全体の避難割合の変化や、各避難所が持つ容量についての検討が今後必要である。また、本モデルの対象地域を拡大・変更して、広域的な活用についても検討していく必要がある。

今後の課題としては、地域防災教育支援ツールを構築するにあたり住民への防災教育を行った効果を確認するために、同じ地域で繰り返しシェイクアウトを行い、定量的に避難訓練の効果を測定する必要がある。また、住民の避難訓練参加による学習効果を把握し、現状の災害に対するリスクの診断をシミュレーションより把握して、住民へ現状の意識と最適な避難行動の情報を可視化・反復学習により共有化することで、

市民参加型の地域防災教育のPDCAサイクルを循環させることが可能となる。このような地域防災教育プログラムの運用が課題として挙げられる。

謝辞：本研究は、プローブデータ測定、アンケート調査の実施に当たって、室蘭市防災対策課、室蘭市輪西地区の市民からの協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 片田敏孝, 桑沢敬行, 金井昌信：発災時刻別被災想定を可能にする災害総合シナリオ・シミュレーション, 土木情報利用技術論文集 15, pp.211-222, 2006.
- 2) 倉内文孝：STEN (Space-Time Extended Network) を用いた最適津波避難計画モデルの構築, 土木計画学研究・講演集 Vol. 50, CD-ROM, 2014.
- 3) 山影進：人工社会構築指南artisocによるマルチエージェント・シミュレーション入門, 書籍工房早山.
- 4) 羽藤英二, 浦田淳司：避難時の目的地集中性を考慮した空間的局在過程のモデル化, 土木計画学研究・講演集, Vol.48, CD-ROM, 2013.
- 5) 羽藤英二, 浦田淳司：津波避難時の避難開始時刻に与える事前行動の影響分析, 都市計画論文集, Vol.48, No.3, pp.807-812, 2013.