

プローブパーソンデータを用いた テラーメイド型避難シミュレーションの構築

Built on the Tailor-made Evacuation Simulation by Using Probe Person Data

室蘭工業大学工学部建築社会基盤系学科	○学生員	生富直孝(Naotaka Ikutomi)
室蘭工業大学工学部建築社会基盤系学科	学生員	豊田隼 (Jun Toyota)
室蘭工業大学大学院工学研究科	正員	浅田拓海(Takumi Asada)
室蘭工業大学大学院工学研究科	正員	有村幹治 (Mikiharu Arimura)

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東日本大震災の発生以降、ハード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的な対策も求められている。室蘭市輪西町では北海道が平成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避難訓練である「室蘭市シェイクアウト」が実施された。輪西町はコミュニティの結びつきが強い地域であり、避難訓練時も集団行動をとる傾向が強く、迅速な避難がなされた。

災害時の社会・個人の対応に関する既存研究として、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、発災時刻を始めとし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。しかしながら、プローブパーソン調査等によるデータを使用したものではなく、現状の避難行動再現等を行うものではなかった。

また、筆者らは過去にマルチエージェントモデルを用いて室蘭市中央町を対象とした津波避難モデルを作成している。しかし、エージェントの発生場所、避難経路があらかじめエージェントのルールに組み込まれており、エージェント間の相互作用が発生しない問題があった。

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問題があった。

本研究の大きな目的として、①地域住民による避難訓練の実施、②プロー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可視化による地域社会への還元を一括して実施可能な地域の実在状況に即したテラーメイド型の防災教育ツールの開発がある。本研究では、上記中、特に③の避難行動シミュレーションの構築について具体的に説明する。本研究の特徴は、実際にプローブパーソン調査により計測された「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の設定を行っていること、また避難意識の高い住民（以下 Leader エージェント）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・効果を測定していることにある。

2. 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

2.1 シミュレーション概要

マルチエージェントモデル²⁾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。本研究では対象地域を避難訓練の行われた室蘭市輪西町とした。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。

2.2 エージェントルールについて

2.2.1 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 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。

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

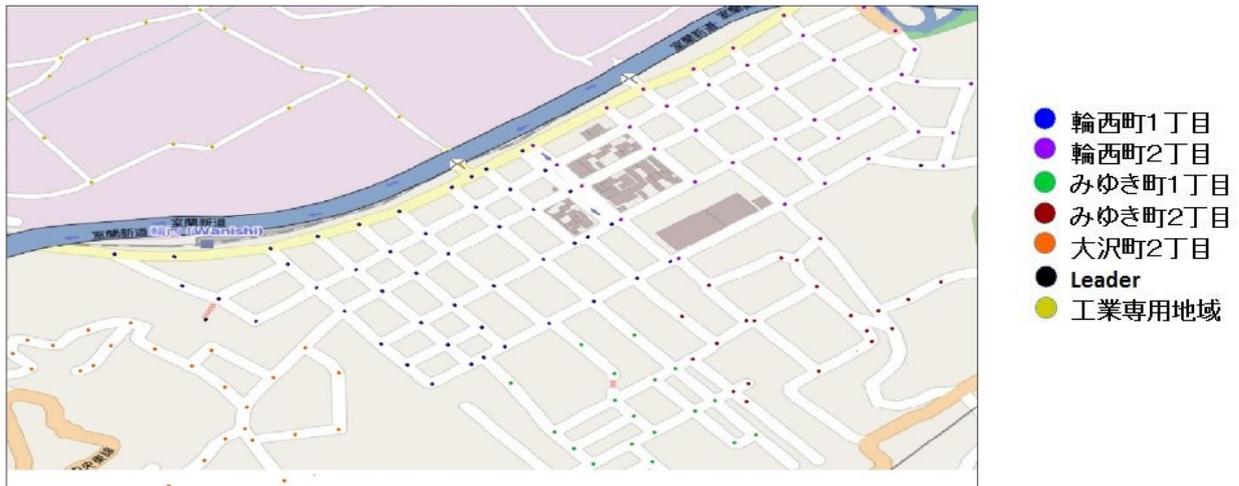


図-1 エージェントの初期配置

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-1 にエージェントの初期配置を示す．

2.2.2 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³⁾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% になるように線型的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 $p (0 \leq p < 1)$ 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-2 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で移動するものとした．

最短経路については，R 言語を用いてノードの X 座標と Y 座標から距離を算出し，これをリンクの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により，避難場所

まで最短経路で移動することが出来る．

「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-3 にエージェントの行動フロー，図-4 に徒歩移動サンプルの平均速度，図-5 に避難判断確率のグラフを示す．

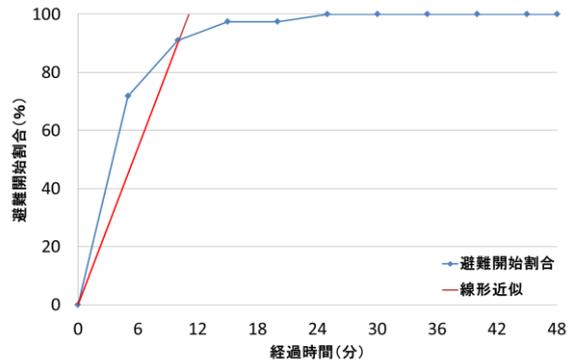


図-2 避難開始確率の実測値

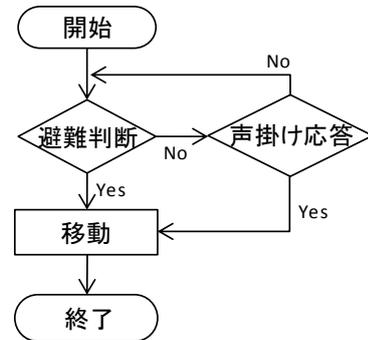


図-3 行動フロー

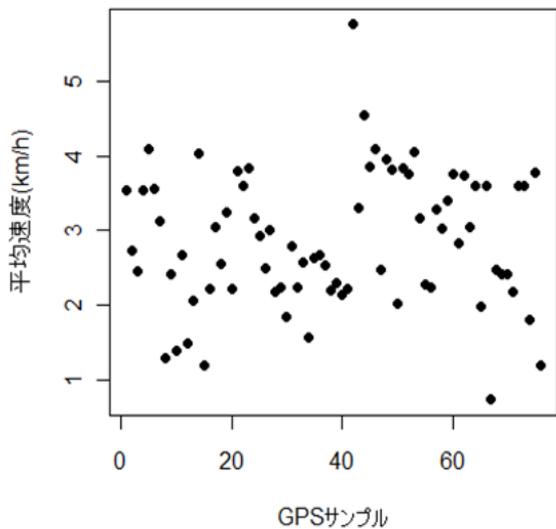


図-4 徒歩移動サンプルの平均速度

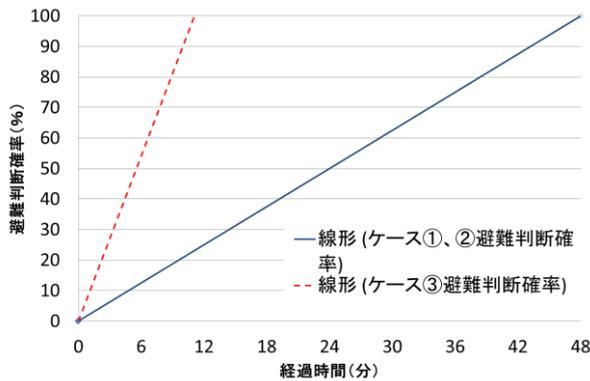


図-5 避難判断確率のグラフ

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。

3. 評価方法

東日本大震災に関する羽藤ら⁴⁾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ン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. 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-6 に示す。

ケース①、②、③、④の避難未完了者数をそれぞれ図-7、図-8、図-9、図-10 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-7、図-8 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-9、図-10 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。

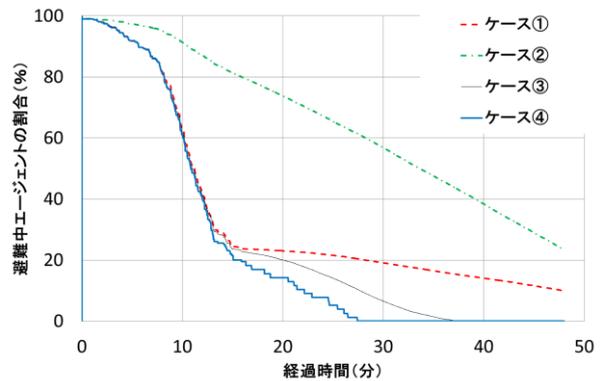


図-6 全体の避難未完了割合

5. 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-6 から得られた結果から、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かめられる。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このグラフから読み取れる。

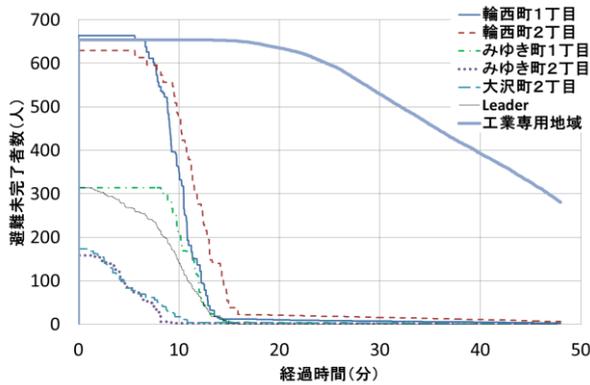


図-7 ケース①の避難未完了者数

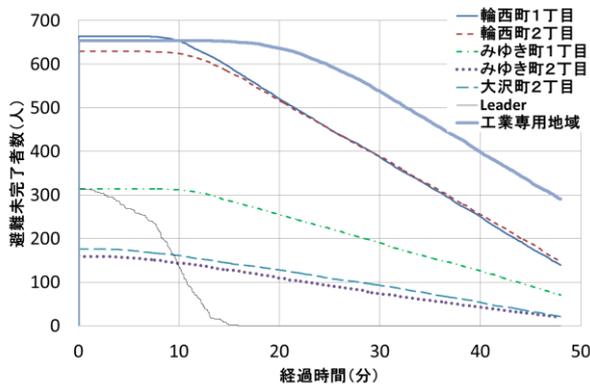


図-8 ケース②の避難未完了者数

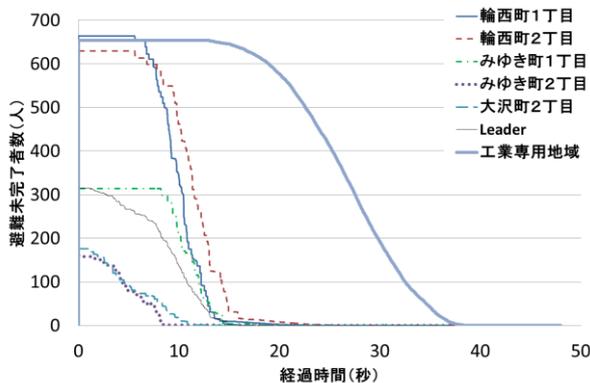


図-9 ケース③の避難未完了者数

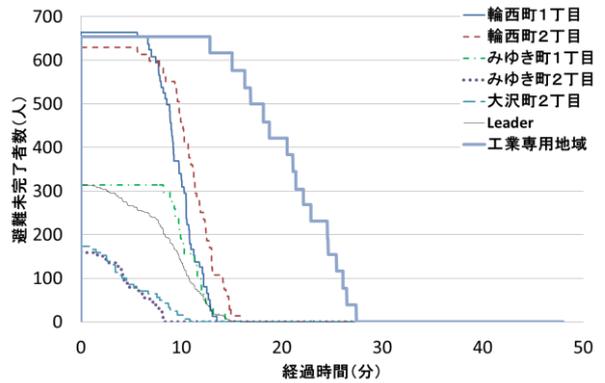


図-10 ケース④の避難未完了者数

6. おわりに

本研究は、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て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。したがって、本シミュレーションの結果を防災教育へ活用するにあたって、住民への周知方法について精査する必要がある。

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) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.