



# BUILT ON THE LOCAL DISASTER PREVENTION EDUCATION TOOL USING EVACUATION DRILL PROBE DATA

著者	生富 直孝, 浅田 拓海, BOONMEE Chawis, 有村 幹治
journal or publication title	土木学会誌論文集D3
volume	72
number	5
page range	331-339
year	2016-12
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00009664">http://hdl.handle.net/10258/00009664</a>

doi: [info:doi/10.2208/jscejipm.72.l\\_331](https://doi.org/10.2208/jscejipm.72.l_331)

# 避難訓練プローブデータを用いた 津波避難計画立案支援ツールの構築

生富 直孝<sup>1</sup>・浅田 拓海<sup>2</sup>・Chawis BOONMEE<sup>3</sup>・有村 幹治<sup>4</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>正会員 室蘭工業大学助教 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

<sup>3</sup>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: 15096502@mmm.muroran-it.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 室蘭工業大学准教授 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、地域の实情に即した津波避難計画の立案、また地域社会における関係主体間の円滑なリスクコミュニケーションの支援を目的に、避難訓練時のプローブデータを用いた避難行動シミュレーションの構築を行った。具体的には、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）において、GPSデバイスによる避難時の移動軌跡の観測及び避難に関する意識調査を行い、得られた結果をマルチエージェントモデルにおけるエージェントルールに組み込み、複数のシナリオ分析を行った。その結果、当該地区における避難行動の差異、また声掛け応答の有無で避難完了割合に13%の差が生じ、避難時における共助の重要性が評価された。

**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<sup>1)</sup>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。

しかし、津波避難計画を作成しただけでは、真に防災・減災力が高い地域社会を形成することはできない。持続的な防災教育の実施や、都市計画と連動した避難経路の維持・管理等、地域社会に関わるプレイヤーの役割分担に応じた持続的な取り組みが重要となるであろう。そのためには、津波避難に関わる関係主体間でのリスクコミュニケーションによる合意形成が必須である。

本研究の目的は、地域の実状に即した津波避難に関す

る防災計画や防災教育、また市民個人や町会レベルのコミュニティ、自治体といった、地域関係主体間のリスクコミュニケーションに必要となる津波避難計画立案支援ツールの開発にある。

本研究は、[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軌跡の計測、[3] 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の構築、[4] 津波避難計画の評価及び地域社会へのフィードバック、以上の4つの課題から構成される。大規模な避難訓練の実施とその観測、またシミュレーションによる評価と可視化、その公開、以上の一連のサイクルを、市民や行政と連携しつつ通年継続的に実施し、津波避難計画立案支援ツールを構築した点が本研究の特徴となる。

本研究の構成は以下となる。まず、2章において既存研究を整理して本研究の位置付けを示す。3章では避難訓練の概要とプローブパーソンデータを用いた避難行動分析を行う。4章では、3章で得られた結果をどのようにマルチエージェントモデルに組み込むのかについて説明する。5章では、避難シナリオを複数設定して上記のモ

デルによるシミュレーションを行い、得られた結果から対象地域における避難行動特性について考察する。6章では、本研究の目的の一つであるシェイクアウトでの観測データやシミュレーションモデルの構築を通して得られた知見の地域社会へのフィードバックについて考察する。最後に、7章においてプローブパーソナデータと避難シミュレーションを用いたリスクコミュニケーションの可能性及び、課題点について述べる。

## 2. 既存研究

前章で挙げた本研究を構成する4つの課題に関連して、過去に多くの研究がなされている。

課題[1], [3]については、熊谷<sup>2)</sup>は、2011年東北地方太平洋沖地震津波の避難行動について津波避難シミュレーションを行い、その結果と実際の避難行動とを比較することにより、シミュレーションの再現性を検証している。実際の避難行動についてはアンケート調査の結果を基にしているため、高齢者・グループ歩行者の及ぼす影響の詳細な検討や、長距離を避難する行動など再現できていない部分があるものの、リアス式海岸沿岸部の徒歩避難者の避難行動に津波避難シミュレーションを適用できることが明らかになっている。

課題[3]については、片田<sup>3)</sup>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ている。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<sup>4)</sup>は、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。

課題[4]に関しては、中居・畑山<sup>5)</sup>は、アンケートの単純集計とクロス集計の結果から住民の避難行動の分析をおこない、避難計画の検討と評価を行った。アンケート調査をもとに実施した津波避難のエージェントシミュレーションの結果によると、地震の発生後すぐに避難を開始しなければ全員が避難を完了することは困難であることが明らかになっている。さらに、防災に関する勉

強会などを開催し、シミュレーションの結果を住民に還元して防災意識に影響を与える要因を特定している。

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。

本研究の新規性は、実際にプローブ調査及びアンケート調査により計測された後述する大規模な津波避難訓練である「室蘭市シェイクアウト」時の住民避難行動をもとに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、シミュレーション結果の可視化により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にある。

## 3. 室蘭市シェイクアウトにおける避難行動調査

室蘭市では、北海道が平成24年6月に公表した津波浸水予測結果に基づき、平成24年から毎年9月1日（防災の日）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」が実施されている。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、住民の避難時の行動および避難に関する意識について、それぞれGPSデバイスによるプローブ調査、アンケート調査の2つの避難行動調査により把握し、地区における避難リスクを評価するとともに、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ているところである。

本研究では、平成26年9月1日に輪西地区において実施されたシェイクアウトにて収集したプローブデータとアンケート結果を分析に用いる。

### (1) GPSデバイスによる避難行動プローブ調査

避難行動プローブ調査では、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デバイスを16の輪西地区町内会に合計100台配布し、参加者毎の避難開始から終了までの移動軌跡を計測した（サンプリング周波数：0.2Hz）。回収後、データのクリーニングを行った結果、有効なサンプル数は78となった。

プローブ調査から得られたデータを用いて、動画を作成し（図-1）、参加者毎の避難時の移動状況を可視化した。また、速度データをもとに、参加者の避難時におけ

る平均歩行速度を求めた(図-2)。成人の平均歩行速度はおよそ4.0km/hと言われており、それと比べると、当参加者の速度は全体的に遅い。その理由としては、避難場所までが上り坂であることや、高齢者の割合が大きく、また、集団で避難するケースが多かったことが挙げられる。

避難を開始した参加者の割合(避難開始者割合)及び避難場所に到着した人の割合(避難完了者割合)の経時変化を図-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3割程度が避難を開始していないが、10分経過後には9割以上の参加者が避難を開始したことがわかる。避難完了者割合をみると、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ことがわかる。

## (2) 避難意識に関するアンケート調査

アンケート調査は、事前に輪西地区の16の町内会に依頼して、おおよその避難訓練参加予定人数を把握し、アンケート票およびGPSを配布した。結果的に、避難訓練の参加者は647名であり、内訳は、16町内会370名、2教育施設112名、4高齢者施設86名、1病院5名、各協力機関25名、市役所49名であった。町内会に依頼したアンケートは避難所において回収した。アンケート票は16町内会からの参加者370名中、92名から回答を得た。有効回答者数は63名であった。そのうち、GPS計測も行った回答者数は47名であった。全参加者の内、輪西地区の大半の人口を占める町内会からの参加者の約17%の有効回答者数となった。アンケートの項目は、個人属性に加え、「A：避難場所への想定移動時間」、「B：避難協力者」、「C：避難時に取る行動」で構成した。

項目A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たことから、この結果を用いて、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、30%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。

次に、項目Bでは、「誰と避難したか」という質問に対して、「近所の人」と回答した人が多かったことから、実際に「近所に知人がどれくらいいるのか」についての回答結果を集計した(図-5)。徒歩圏(自宅から周囲1km程度以内)にいる知人は、50代以下と60代以上を比較すると10世帯以上の割合と5～10世帯の割合に差が出たが、両世代とも徒歩圏に知人の世帯が5世帯以上いる割合が5割を超えていることがわかる。

さらに、徒歩圏に知人が3世帯以上いると回答した割合は、50代以下と60代以上でともに約8割であった。一方で、避難訓練時には近所の人と避難したが、徒歩圏に



図-1 避難軌跡データ(青線、室蘭市輪西地区)

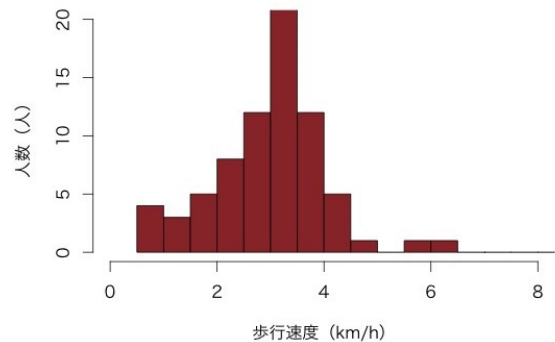


図-2 避難時における住民の平均歩行速度分布

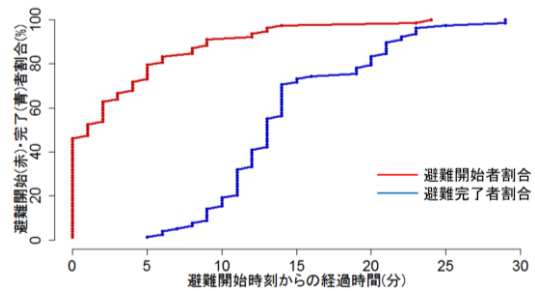


図-3 避難開始・完了者割合グラフ

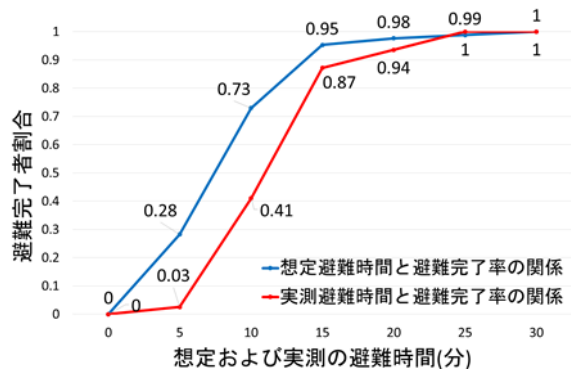


図-4 避難時間と避難完了者割合の関係

知人がほとんどいないと回答した人は両世代とも2割程度いることがわかった。これは、徒歩圏に知人がいない参加者であるが、所属する町内会内の集合場所に集まっ

てから、避難を開始したことによるものと思われる。近所の人と避難を行った割合が多いことや、その中で近隣に知人が住んでいる割合が高いだけでなく、知人がいなくても近所の人と避難を行っている人がいることを考慮すると、地域内で住民同士が連携し避難を行っていることが読み取れる。

項目Cでは、「避難時に近所に声を掛けに行くか」について質問したところ、有効回答者の14%が「掛けに行く」を回答した。なお、この有効回答者は、事前に参加者全体の属性比率と大きく乖離しないように選んだ対象であるため、参加者全体の回答をおおよそ再現できているものと判断できる。上記の14%は、大きな割合ではないものの、上述のように徒歩圏に知人がいない人が少ない地域の中で、地震や津波に気付かないケースもあることから、このような「声掛け」は津波避難において極めて重要な行動と言える。項目Bの結果もあわせて、輪西地区は地域の「共助」の度合いが高いということがわかる。

#### 4. マルチエージェントモデルによる避難行動のシナリオ分析

##### (1) シミュレーションの概要

マルチエージェントモデル<sup>6)</sup>は、個々（各エージェント）が、それぞれの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採用されている。本研究では、避難訓練時の各種計測結果をマルチエージェントモデルに反映し、地域特性を考慮した避難行動のシナリオ分析を行う。

なお、北海道は、当地域に関する地震津波の想定として、「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」としていることから、本シミュレーションの対象時間は、津波発生から48分間までとした。

##### (2) 避難意識を考慮したエージェントルール

###### a) エージェントの配置

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、共助の作用として、「声掛け」行動を導入し、これを行う避難意識の高い住民（以下、Leader エージェント）も発生させ、これ以外を一般避難エージェントとして区分した。

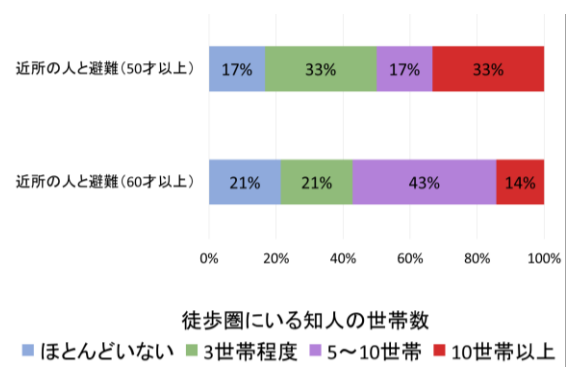


図-5 近隣の知人世帯数別の避難同行者の有無

表-1 地区ごとの人口及びエージェント配置 (人)

町名	人口	面積割合	P	エージェント数
輪西町1丁目	772	1.00	772	664
輪西町2丁目	735	1.00	735	630
みゆき町1丁目	487	0.75	365	314
みゆき町2丁目	194	1.00	194	167
大沢町2丁目	442	0.50	221	190
Leader				320
工業専用地域				654

各地区の人口、エージェント配置数は表-1の通りである。エージェントの初期配置位置については、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た（図-6）。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エージェント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。なお、「声掛け」を発生させるLeaderエージェントの割合は、アンケート調査で得られた項目C「避難時に近所に声を掛けに行くか」の回答率である14%を採用した。

###### b) 避難行動ルール

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・浦田<sup>7)</sup>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

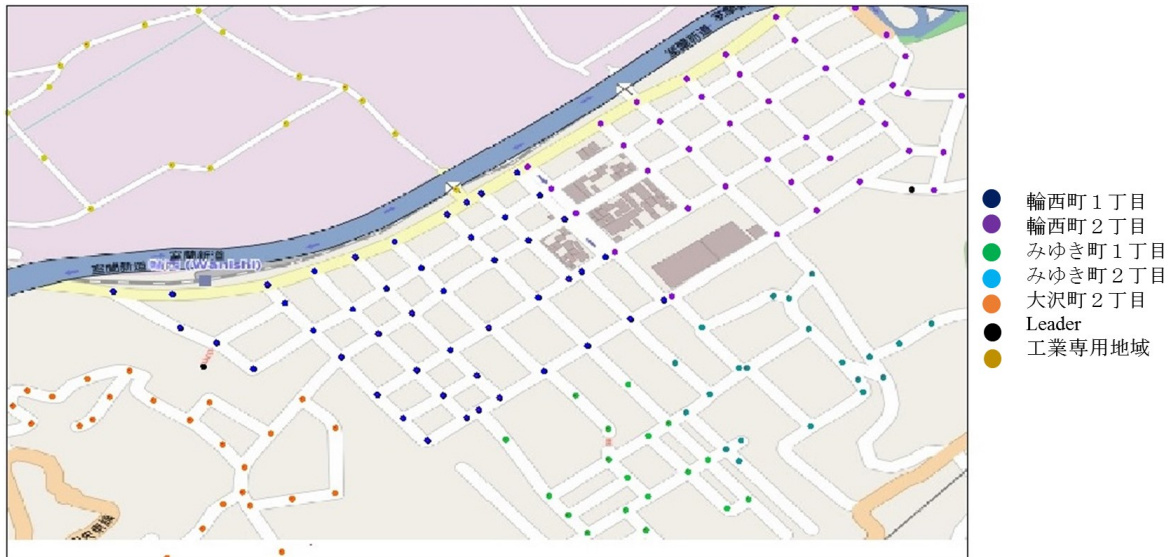


図-6 エージェントの初期配置

おけるGPSの避難開始時刻データを用いて算出した(図-7). 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, 各リンクの距離を算出し, 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2.76km/hを採用した. 図-8にエージェントの行動フロー, 図-9に避難判断確率のグラフを示す. 避難判断確率は, シミュレーション開始から経時的に上昇する一次関数として表す. 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, 再び乱数による判断が発生する.

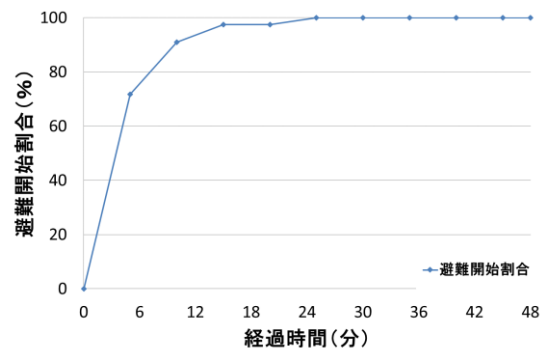


図-7 避難開始確率の実測値

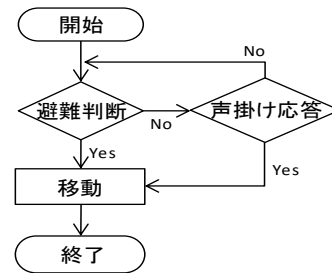


図-8 行動フロー

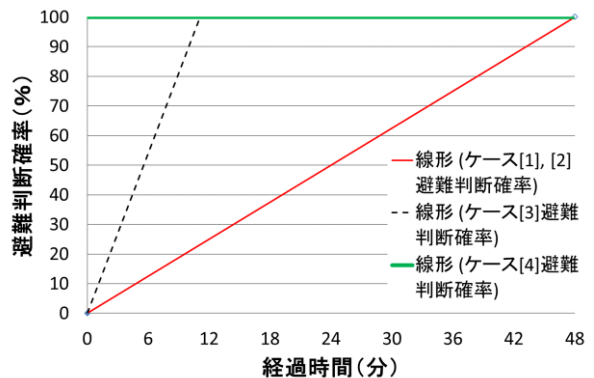


図-9 避難判断確率のグラフ

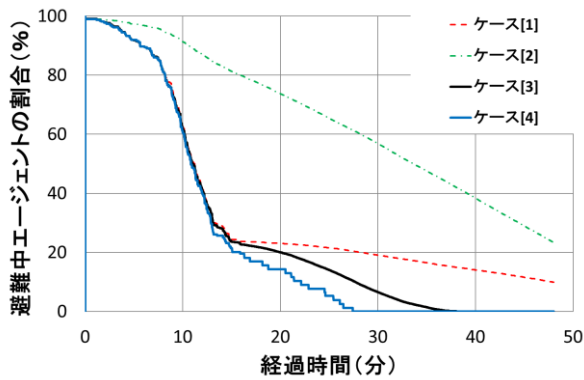


図-10 全体の避難完了割合

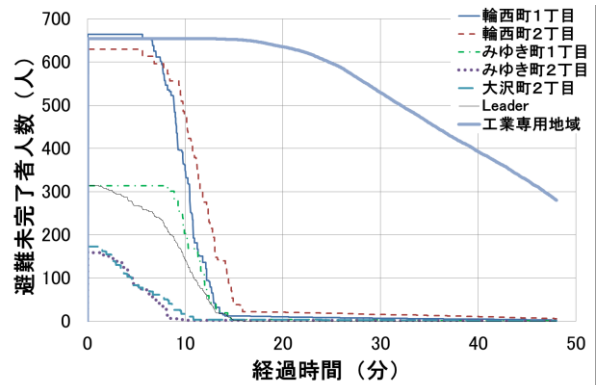


図-11 ケース[1]の避難未完了者数

## 5. 対象地域におけるシミュレーション

### (1) シナリオ設定

東日本大震災に関する羽藤・浦田<sup>8)</sup>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%かつ避難判断確率が48分後に100%となるケース、[2]声掛け応答率0%かつ避難判断確率が48分後に100%となるケース、[3]声掛け応答率100%かつ避難判断確率が10分後に90%となるケース（訓練時の避難確率モデル）、[4]避難判断確率が開始直後から100%のケース（一斉避難モデル）、以上の4パターン（図-9）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。

### (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。全ケースの避難完了割合を図-10に示す。

ケース[1]、[2]、[3]、[4]の避難未完了者数をそれぞれ図-11、図-12、図-13、図-14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-11、図-12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-13、図-14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。

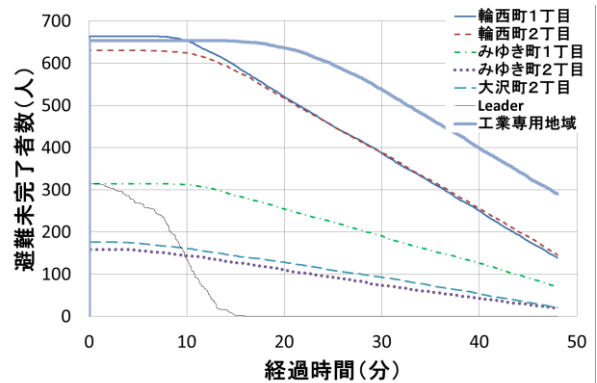


図-12 ケース[2]の避難未完了者数

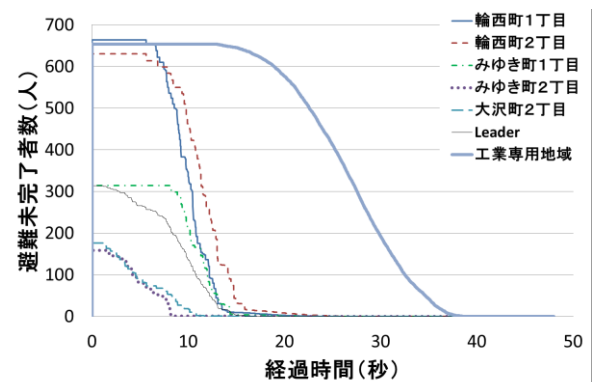


図-13 ケース[3]の避難未完了者数

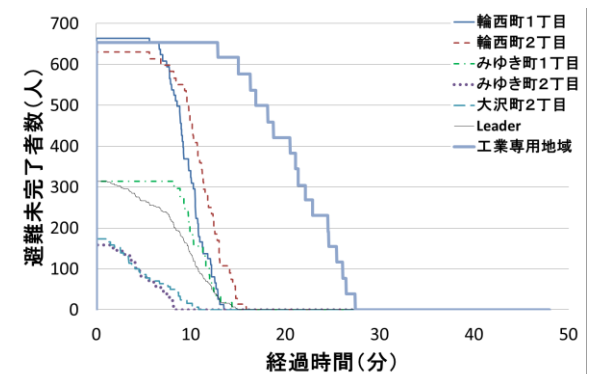


図-14 ケース[4]の避難未完了者数

### (3) シミュレーション結果の考察

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-10から、声掛け応答率の有無で避難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、避難完了割合を大きく押し上げ、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-8, 9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]では、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できる。ケース[3]は、実際の避難行動を再現したモデルケースであり、今回行われた室蘭市シェイクアウトは、室蘭市の津波避難計画に基づいて行われていることから、津波避難計画の評価を行うことができる。図-13を見ると全エージェントが津波第一波到達前に避難を完了しており、さらに、ケース[4]の一斉避難モデルに類似した結果を示した。したがって、現状の津波避難計画に問題がないと言える。各地区は避難場所からの距離が違うので、1ケース内で避難完了に差が生じる。

また、各ケースを比較すると、ケース[2]以外の3ケースは、工業専用地域以外のエージェントにおいてほぼ同一の避難完了時間を示している。これは、すべてのケースにおいてLeaderエージェントが同一の結果を示しており、ケース[2]のみLeaderエージェントによる声掛けが発生しないため、避難に遅れが生じているからである。また、ケース[3]では、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できれば、津波到達前に全員が避難完了できることがわかる。

## 6. 社会へのフィードバック手法に関する考察

本章では、本研究の目的の一つであるシェイクアウトでの観測データやシミュレーションモデルの構築を通し

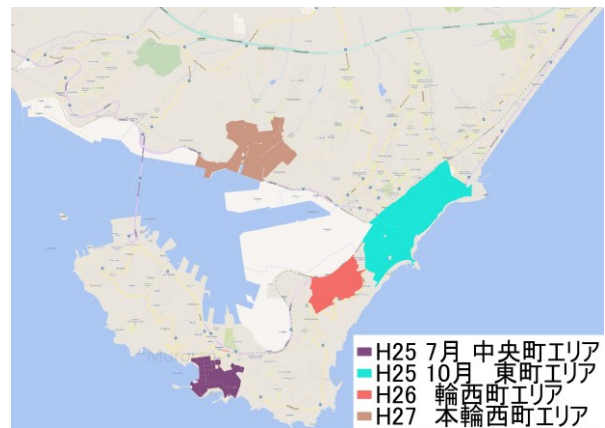


図-15 シェイクアウト実施地区

表-2 シェイクアウトの概要

開催日時	開催地	参加人数	実施内容			フィードバック (防災講話)
			アンケート	GPSプロブ	シミュレーション	
2013/7/1	中央町	1,118		○	○	
2013/10/29	東町	1,644				
2014/9/1	輪西町	647	○	○	○	
2015/9/1	本輪西町	462	○	○	○	○ (前年度結果)
2016/9/1 (実施予定)	中島町	未定	○	○	○	○ (前年度結果)

て得られた知見の地域社会へのフィードバックについて考察する。

前述した室蘭市シェイクアウト避難訓練は平成25年度より実施されており、平成25年度は中央町地区、東町地区、平成26年度は輪西地区、平成27年度は本輪西地区、また平成28年度は市の商業的中心地である中島地区で実施予定である。例年、市内の地区を変えつつ、平成25年度は7月1日、10月29日の2回、平成26年度以降は毎年9月1日の防災の日を実施されている。市内各実施地区の位置関係を図-15に示す。各シェイクアウトの概要を表-2に示す。

このような地区レベルのシェイクアウト避難訓練は、参加者が数百名と大規模になる。そのため、訓練を企画運営する自治体にとっては、避難訓練の実施そのものが目的化する問題があった。室蘭市においても、平成25年の訓練は、一部GPSによる避難行動の計測は行ったが、訓練を実施するのみで終了している。

参加者個人の避難に関する知識は、訓練時の体験から個々人に定着する学修のプロセスを経るものと考えられ、これ自体は、通常の訓練によっても効果があるものと想定される。しかし、地区全体で発生する避難行動現象、例えば避難完了時間分布等、津波避難に関する各種のり



スクを定量化し、診断した結果を多くの住民に分かりやすく周知し、それを蓄積していくことは、通常、平日に実施される訓練の円滑な運営上、行政にとっては難しい課題であった。

この課題について、本研究ではシェイクアウト避難訓練終了後に防災講話の時間を設け、平成26年度、平成27年度に前年度までの避難訓練の状況について筆者らの一人が講師となって、訓練参加者に直接説明することを試みている(表-2)。平成27年度には、ハザードマップの見方、プローブパーソンデータに基づいた住民の避難時間の分布状況、認知上の避難完了時間分布と訓練時の実測の避難完了時間分布の差、声掛けに関する日常からの近所付き合い等によるコミュニティ醸成の重要性について報告した。

このように、行政、町会が主体となり実施されるシェイクアウトに、大学が連携することで避難行動を継続的に観測し、地域の実情に即したシミュレーションモデルの構築し、またその解説を通年で継続することにより、個々人のみならず、地域全体で、避難行動に関する知見を蓄積できる。以上の概念図を図-16に示す。

本研究では、シェイクアウトの実施から、防災講話の実施による地域社会へのフィードバックを、通年のシェイクアウト実施サイクルの中で、一貫して実施できる組織体制を、自治体・町会・大学連携により構築した。避難訓練の観測と防災教育を並列的に実施できる体制づくりは、実学的観点から重要な成果になると考えられる。

なお、平成27年度には、室蘭市本輪西地区において総参加者数462人のシェイクアウトが実施されており、本研究同様に、プローブパーソン調査およびシミュレーションの構築がなされている。ここでは、平成26年度の輪西地区の避難行動軌跡をアニメーション化して住民に公開し、避難に関する情報共有を行った。また平成28年度には、室蘭市の経済的中心地である中島地区でシェイクアウトが実施される。ここでは、過去に実施されたシェイクアウト訓練の地区間での比較が報告される予定である。

## 7. 結論

本研究では、第1章で示した4つの課題：[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軌跡の計測、[3]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の構築、[4]津波避難計画の評価及び地域社会へのフィードバック、について検討した。

課題[1]、[2]に関しては、実際の避難訓練でプローブパーソン調査を実施して、当該地域では津波第一波到達

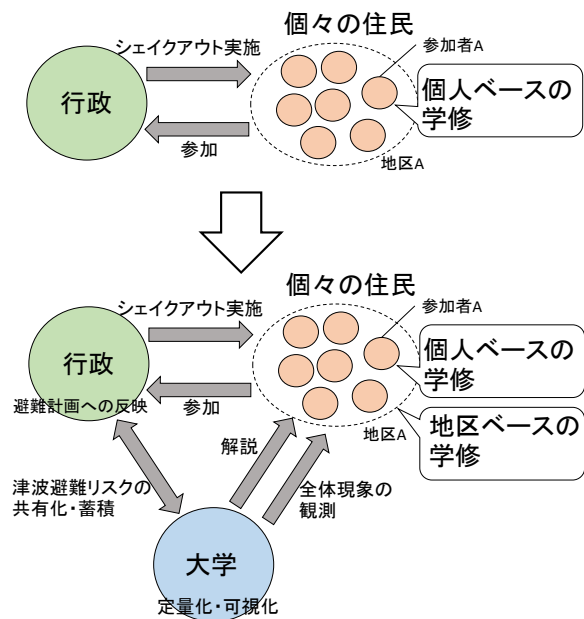


図-16 シェイクアウト実施体制の変化

までに余裕を持って避難が完了することが分かった。しかし、避難自体は間に合っていない、アンケート調査で得た避難前に想定していた避難時間とプローブパーソン調査で得た実際の避難時間には乖離が生じており、避難の自己認識(避難開始タイミングや移動速度)が十分ではない住民が存在した(図-4)。これは、今回対象としたような住民の共助意識が高い地域(図-5)においても、想定外の津波が発生したときには、自助の段階で迷いが生じてしまい、避難が間に合わない可能性があることを示唆している。そのため、防災勉強会などを開催して、自助と共助の両立の重要性を周知する必要がある。また、避難訓練を行うことはあらかじめ分かっており、避難のための準備を済ませているため、日常から非日常に切り替わる、避難行動の特徴を観測できていない。大規模避難訓練の設計と観測は、今後の課題となる。

課題[3]に関しては、地域の実情に即した防災教育支援ツールの構築に向けて、避難訓練における意識・行動に関する調査データを反映したシミュレーションモデルを構築し、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。次に共助、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”の概念を導入した避難行動モデルを構築し、シミュレーションを行った。その結果、津波到達時間までの避難完了割合を算定したところ、声掛けがある場合は、ない場合よりも避難完了割合が13%増加することを明らかにした。以上のことから、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と言える。

構築したシミュレーション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、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。上述した「想定外」や自助における「迷い」などの再現も重要な課題である。それらを踏まえた上で、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。

課題[4]に関しては、シミュレーションモデルを活用することで簡便に現状の津波避難計画の評価を行い、現状の津波避難計画の有効性を示した。また、6章で示したように、シェイクアウトの実施、観測、評価、また通年を通じた社会へのフィードバックを実施できる体制の構築を行った。プローブパーソン調査の結果のアニメーションやシミュレーションを防災教育ツールとして使用する観点からは、どのようなコンテンツが、住民の防災意識に影響を与えるのか、その要因を個別に推定する必要があるだろう。継続的な地域全体での防災教育は、今後の課題となる。

**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) 北海道庁：北海道強靱化計画（2015）<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ss/sss/hokkaidokyoujinkakeikaku.pdf>, 2015.7 閲覧.
- 2) 熊谷兼太郎：2011 年東北地方太平洋沖地震津波の避難行動の津波避難シミュレーションによる再現性の検証，土木学会論文集 D3, Vol. 70, No. 5, pp. I\_187-I\_196, 2014.
- 3) 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，Vol. 15, pp. 211-222, 2006.
- 4) 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.
- 5) 中居楓子，畑山満則：住民の避難行動の分析および地域住民との連携による避難計画の検討と評価：高知県黒潮町における災害リスクコミュニケーションの事例研究，土木計画学研究・講演集，Vol. 47, CD-ROM, 2013.
- 6) 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，2008.
- 7) 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.
- 8) 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.

(2016. 2. 26 受付)

## BUILT ON THE LOCAL DISASTER PREVENTION EDUCATION TOOL USING EVACUATION DRILL PROBE DATA

Naotaka IKUTOMI, Takumi ASADA, Chawis BOONMEE and Mikiharu ARIMURA

In this study, we proposed evacuation behavior simulation for tsunami evacuation plans on the road with a real situation, and also aim to suppose smooth risk communication between the entries in the community. The probe data in a period of evacuation time is used to analyze in this study. On September 1, 2014, we surveyed awareness and observed the evacuation of moving track in a period of evacuation time on large-scale regional evacuation drills (Muroran shake-out) by using GPS device. Moreover, we analyzed the several scenarios in a multi-agent model that considering agent running in behavior rules by using the probe data of the target area. The result found that the ratio of alive evacuee before the first tsunami arrival was increased as 13 percentage.