

# マルチエージェント・シミュレーションを用いた 津波被害軽減に関する研究

A Study on decreased tsunami damage effect using MultiAgentSimulation

北見工業大学大学院	○学生員	二本松 誠司(Satoshi Nihonmatsu)
北見工業大学	正員	高橋 清 (Kiyoshi Takahashi)
日本データサービス株式会社		澁谷 健一(Kenichi Shibuya)
五十嵐建設株式会社		田中 俊幸(Toshiyuki Tanaka)

## 1. はじめに

北海道における沿岸・沖合漁業の拠点地としての役割を果たす根室地域は、オホーツク海と太平洋に囲まれた北海道最東端に位置し、日本海溝型・千島海溝周辺海溝型地震に関する特別措置による推進地域の一つに指定されている。その例として500年間隔津波を想定したシミュレーションより、地震発生後根室地域の太平洋側の津波襲来時刻は約15～20分と想定されている<sup>2)</sup>。従って、津波の被害軽減を図るためには、通行規制やパトロール車の巡回を実施する必要がある。しかし、パトロール車の巡回だけでは対象地域を移動する車両に対する情報提供を行うことは困難である。また、その情報内容も冠水地帯の正確な情報提供は困難であると考えられ、対象地域を移動する車両に対する津波被害を軽減する方法を示すことは急務である。

そこで本研究では、根室地域で地域住民および広域に流動を行う観光客に着目し、津波対策の実施による被害軽減に対する効果を数値化すると共に、被害軽減に対する効果的な通行規制を行う箇所を検討することを目的とする。

## 2. 既往研究による本研究の位置づけ

防災に関する研究の中で、避難シミュレーションを用いて分析を行っている主な研究は以下のようなものがある。地震災害時の避難行動を対象とした研究には、避難経路モデルを用いて群集避難の危険性の分析と密集空間の危険性を相対比較している研究<sup>3)</sup>や、道路網の防災性能評価を行っている研究<sup>4)</sup>が挙げられる。津波災害時の避難行動を対象とした研究には、都市アクティビティを構成する住民個々の生活行動を表現するための手法の再現性を検証している研究<sup>5)</sup>などが挙げられる。また、地震と津波の両災害の相互作用を考慮し人的被害構造を検討している研究<sup>6)</sup>も行われている。

また、本研究室では、情報提供と避難行動の視点から、避難シミュレーションを実施している研究として、黒田<sup>6)</sup>と志鎌<sup>8)</sup>の研究がある。黒田は、雌阿寒岳周辺での広域観光行動を取る観光客の避難行動に着目し、マルチエージェントシミュレーション(以下 MAS)を用いることで交通路の遮断と道路利用者に対する情報提供を表現できることを示している。今後の課題として、道路パトロール車や警察・消防車両などの緊急車両と避難車両との

相互作用に関する分析を挙げている。志鎌は、根室地域を対象とした広域を移動する地域住民と観光客を対象とした道路情報表示板、パトロール車巡回による津波に関する情報提供による被害軽減効果を示している。今後の課題としては、エージェントの移動速度に関する設定を見直すことなど、より現実に近いデータを MAS に反映することでの分析を行うことを挙げている。

そこで本研究では図-1 に示す研究対象地域に対して、津波情報における道路情報表示板による情報提供や道路管理者によるパトロール車の巡回を考慮した通行規制箇所を検討することを目的に、MAS を用いた津波シミュレーションを行うことで、広域を移動する車両に対して、最も被害を軽減できる方法と効果について検証する。

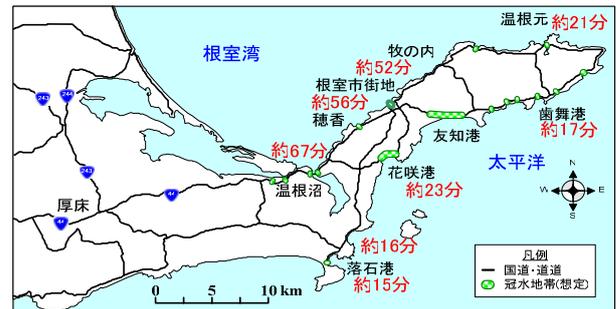


図-1 研究対象地域の根室地域

## 3. 根室地域の津波防災の現状と道路ネットワーク

### 3.1 根室地域における津波防災の現状

2011年3月11日に東日本大震災発生後、根室地域では2011年8月23日に500年間隔地震が発生した場合における予想浸水地帯を反映させたハザードマップを作成している。また同地域の国道を管理している釧路開発建設部に災害対策についてヒアリングを実施した結果、現在根室地域のハザードマップや想定される津波の規模等から、通行規制実施におけるルールの見直しを行っている。場合によっては警察のパトロール車も通行規制を行うなど、道路管理者以外の機関が、津波防災に協力することも検討中である。同地域の道道を管理している釧路建設管理部においても、津波発生時に根室地域の道道の維持・管理を委託している会社に対して、津波発生時にどのような対処を行うかについて検討中である。

同地域の過去の事例を振り返ると、2010年2月27日に発生した南米チリ中部沿岸地震においては、根室市花咲で30cmの第1波が観測されたものの、国道、道道と

もに通行規制は実施されない結果となっている。この理由として、①過去の津波注警報発表で通行規制を実施したことがないこと、②津波警報解除までに時間がかかるため、通行規制により港内の作業や物流が全てストップする、③根室地域のルールがある（他機関の動向が不明であり、単独機関では対応が困難）といったものが挙げられる。また、根室地域では過去に雪害による通行止めの事例があり、2008年4月1日の吹雪視程障害による通行止めが実施においては、バスの全便運休やガソリン入荷のストップ、生乳出荷ができないことによる100万円以上の損害が発生するといった問題が発生していた。

また全国的に見ると、気象庁による津波発生時の情報提供の目標として、津波発生3分までに過小評価を最大限回避した第一報発表を行うことを検討している。

### 3.2 根室地域の道路ネットワークと浸水地帯

根室地域の道路ネットワークは、根室市と厚岸町を結ぶ国道44号線と複数の主要道道・一般道道で構成されている。国道44号線は根室市と釧路市を結ぶ延長124kmの主要幹線道路であり、このうち根室道路は国土地域ネットワークの構築、地吹雪や地震・気象災害等による自然災害の解消、物流の効率化などを支援することを目的とした重要な道路である。また釧路空港及び中標津空港から観光客のアクセス向上も見込まれている。

また根室地域はオホーツク海と太平洋に囲まれるように位置しており、津波襲来による対象路線の浸水予測地帯を図-1に示す。本シミュレーションによる浸水地帯は、500年間隔地震のシミュレーション結果と同様の位置を考える。

## 4. 避難シミュレーションを用いた被害リスクの分析

### 4.1 MASの概要

広域流動が取られている根室地域において冠水地帯の発生が想定される危険領域から避難する場合、人々は状況を判断し行動すると考えられる。そこで、本研究では、人（エージェント）の振舞いが周囲の環境によって動的に変化するような状況をシミュレートするための手法としてMASを用いた。MASは、エージェントの行動する環境とエージェントの行動ルールを設定することによって、複雑な相互作用がコンピュータの中で展開されるものである。このMASを用いることで、自家用車による移動を行う地域住民と観光客とが広域に流動することを表現したモデルを作成し、通行規制や道路管理者のパトロール車による巡回などによる情報提供が津波による人的被害に及ぼす影響について分析を行った。

### 4.2 道路ネットワーク

本研究のシミュレーションで用いた道路ネットワークは、根室地域における一般国道、主要道道、一般道道を網羅したものとし、MASに反映したネットワークを図-2に示す。また想定する地震及び津波については、広域的な道路ネットワーク上を対象としたシミュレーションから検討するため、根室地域外での遠地で発生した地震により襲来する500年間隔地震津波を想定している。

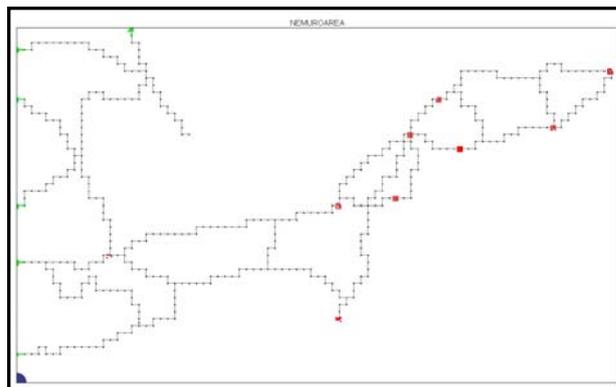


図-2 MASに反映した対象道路ネットワーク

### 4.3 分析内容と想定シナリオ

分析内容は自家用車による移動を行う地域住民と観光客による広域流動を対象に、今考えられる津波対策実施における、被害車両軽減効果を算出する。

シナリオは次の通りである。根室地域外のある地点を震源地とした地震が発生し、大津波警報が根室地域で発令される。大津波警報発令後、3分後に①道路情報表示板から避難情報の提供、②道路管理者の根室出張所を基点としたパトロール車の通行規制が開始される。地震発生から約15分後に根室地域の太平洋側で津波の第1波が観測され、各集落における津波襲来に伴い道路ネットワーク上に浸水地点が発生する。この道路ネットワーク上を自家用車で走行する地域住民及び観光客は、具体的な冠水地帯の場所を把握することが出来ない理由により目的地まで走行を続ける人々も存在する。この地域住民及び観光客は、走行途中で道路情報表示板や、道路管理者によるパトロール車の通行規制などの外的環境から避難情報を受取り、避難行動のトリガーとして避難を開始する。

### 4.4 シミュレーションの各種設定

#### 1) 車両エージェント

地域住民および観光客の広域流動から防災対策を検討するために、車両エージェントがODパターンを基に移動し、周辺の避難情報によって避難を開始するMASモデルを作成した。避難を行う車両エージェントについては地域住民と観光客を選定した。地域住民の車両エージェントについては、根室地域における温根元地区、歯舞地区、友知港地区、根室市街地、花咲港地区、落石港地区、温根沼地区、牧の内地区、厚床地区の9箇所が発生させ、エージェント数は1000台とし、対象地域の人口割合とグラビティモデル法を用いて想定したODパターンで移動させる。また集中箇所は発生箇所と同様に設定した。観光客の車両エージェントについては、根室地域外からの観光流動を考慮して、発生箇所を根室市街地、浜中町方面、上風連方面、別海町方面、標津町方面に設定した。最終目的地(D)については、観光地への周遊行動を想定し、納沙布岬、北方原生花園、根室市街地、花咲港地区、落石港地区、春国岱原生野鳥公園ネイチャーセンター、道の駅スワン44と設定した。発生・集中交通量の割合はODそれぞれの箇所に最も近い観測地点の24時間交通量から算出し、1000台のエージェントを割り振っている。地域住民と観光客の車両エージェント

の OD の発着地を図-3,4 に示す。地域住民と観光客のエージェントのルールとして、出発地 O から目的地 D に到着した際、また出発地 O の地点から発生し、目的地 D へ向かう。これは対象路線上を移動する車両を分布させることにより、現実に近い状態で分析を行うためである。

### 2) 道路情報表示板

道路情報表示板は、実際の設置箇所に基づいて図-1 のように合計 20 箇所を設定した。道路情報板に近づいた車両は、避難ルートなどの情報を受取り、避難行動を開始するルールへと移行する。その際、道路利用者の道路情報表示板に対する情報の信頼度については、黒田の研究におけるアンケート調査の実データ<sup>9)</sup>を基に 65.4% と設定してパラメータを作成した。

### 3) 通行規制

道路(国道・道道)管理者が浸水予想地帯周辺に向かい、浸水予想遅滞に向かう車両に対して呼びかけを始める。通行規制の実施時刻は、釧路開発建設部は気象庁からの情報提供を受け取った 5 分後に、釧路建設管理部は委託会社が通行規制を行うため、7 分後に出張所(本部)から出勤する。通行規制を始める箇所は、道路情報表示板の結果より設定し、道路情報表示板と併用による被害車両軽減効果を把握する。

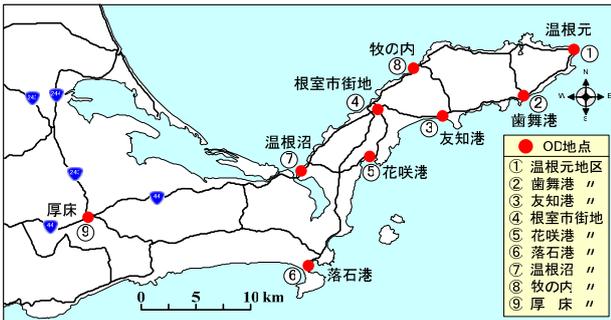


図-3 地域住民の OD パターン



図-4 観光客の OD パターン

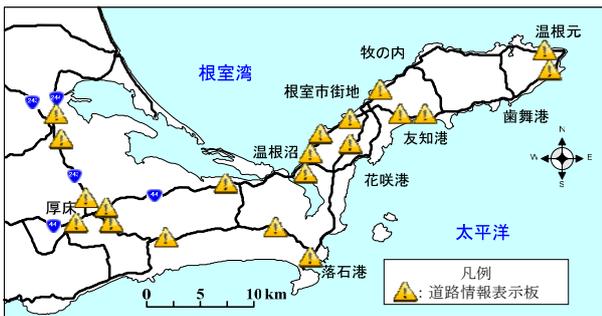


図-5 道路情報表示板設置箇所

## 5. MAS を用いた被害車両分析

### 5.1 情報提供を行わなかった場合の被害車両の分析

情報提供を行わなかった場合のシナリオは以下の通りである。根室地域外のある地点を震源地とした地震により津波が発生、図-1 に示した浸水想定箇所が想定時間毎に浸水する。そして対象路線を移動中の車両が浸水地帯に侵入すると被災するとし、被害車両割合から 500 年間隔地震が根室地域で発生した場合の被害を把握する。全ての浸水箇所の被害車両状況を把握するため、シミュレーション終了時間は最後に発生する浸水予想地帯が発生後 10 分後としている。また経過時間 0 分は津波発生時を指している。

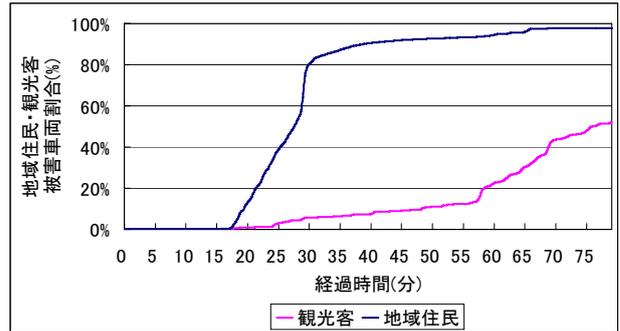


図-6 情報提供無しによる被害車両割合

図-6 から、地域住民、観光客共に津波発生 15 分以降に被害が集中している。地域住民は 30 分までに被害が集中し、観光客は緩やかに被害が発生している。

### 5.2 道路情報表示板の情報提供実施による被害車両割合分析

道路情報表示板による情報提供を実施する場合のシナリオは次の通りである。津波発生 3 分後、対象路線上の道路情報表示板が作動し、地域住民、観光客に対して情報提供を行う。

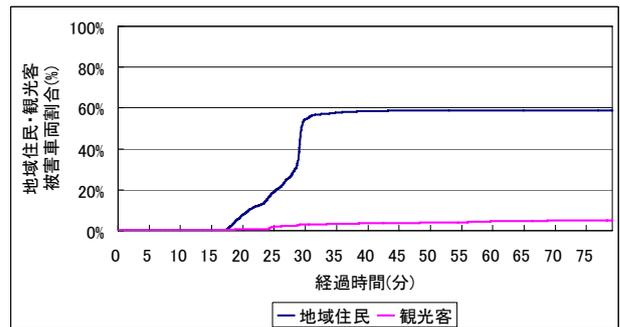


図-7 道路情報表示板による被害車両割合

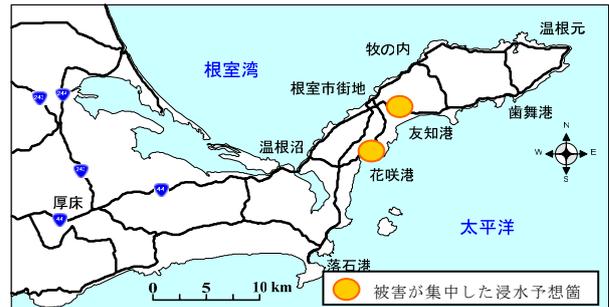


図-8 被害が集中した浸水予想地帯

図-7 から、道庁情報表示板による情報提供は観光客に対して、早期に呼び掛けることが可能であることがわかった。しかし、地域住民に対しては、観光客程の効果は見られない。そこで、地域住民の被害が集中した箇所を図-8 に示した。友知港と花咲港、地域住民の被害車両割合は約 8%と約 37%となっている。

### 5.3 道路管理者の通行規制実施による被害車両割合分析

道路管理者の通行規制実施のシナリオは次の通りである。津波発生3分後、道路情報表示板による情報提供開始、5分後、釧路開発建設部は花咲港、7分後に釧路建設管理部は友知港、それぞれ1台ずつ通行規制箇所に向かう。浸水予想地帯付近に到着後、浸水予想地帯に向かう車両に対して、情報提供を行う。

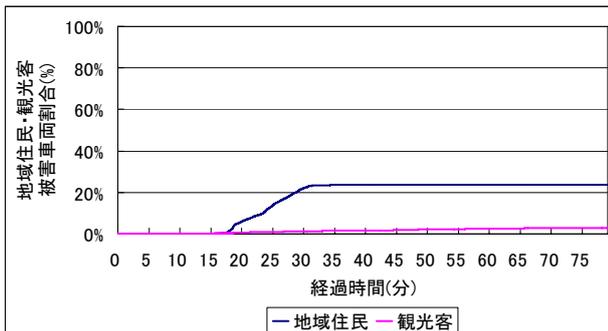


図-9 道路情報表示板と通行規制による被害車両割合

図-9 より、通行規制の実施により、被害車両軽減効果は明らかになった。しかし、通行規制対象地域の被害車両割合は、友知港 5%、花咲港 9%となったことから、シミュレーション開始早期に、友知港、花咲港で発生しているエージェントが被害に合っていることが考えられる。

## 6. 考察

情報提供を実施しない場合、対象地域を移動する地域住民 90%以上、観光客は 50%以上が津波による被害に合ったが、道路情報表示板、道路管理者による通行規制の実施により、被害車両割合は地域住民、観光客共に軽減された。

観光客は道路情報表示板、道路管理者の通行規制実施によって被害車両割合が 3%未満まで軽減されている。これは、地域住民より移動距離が長いことから、道路情報表示板を通過する回数が多かったためと考えられる。

地域住民に関しては、移動距離が短い事から、道路情報表示板を通過する回数が観光客より少なく、観光客ほど軽減効果がなかったと考えられる。また発生箇所付近浸水予想地帯があることから、情報を受け取ることが出来ずに被害に合う地域住民が存在することが考えられる。今後はこのことを考慮した対策を考える必要がある。

## 7. おわりに

本研究では、広域流動を行う地域住民と観光客を対象に MAS を用いることで既存の防災施設を活用した場合

の被害軽減効果を検討した。その結果、道路情報表示板と道路管理者の通行規制によって被害車両割合を軽減出来た。

結果として、道路情報表示板をトリガーとして避難した場合の車両割合と、道路情報表示板と道路管理者の通行規制実施による被害車両割合に対しては、観光客に関しては大きな差は見られなかったが、地域住民に対しては被害車両割合が、約 60%から約 20%まで軽減したことから、津波発生後、道路管理者による通行規制は有効であることが明らかになった。しかし、被害が集中した友知港と花咲港では、道路情報表示板と道路管理者による通行規制より情報提供を実施しても被害が集中したことから、津波発生時には浸水予想地帯に向かう車両への呼びかけと同時に、浸水予想地帯周辺の町に対して、早期の情報提供を行い、津波発生時に、車で移動する地域住民を減らす対策が必要であると考えられる。

### 【参考文献】

- 1) 群馬大学大学院工学研究科 片田研究室：平成 18 年 11 月 15 日千島列島の地震における北海道の行政と住民の津波対応に関する調査 調査報告書【集計編】，2007.11
- 2) 内閣府 HP：日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震対策の概要 [http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/taisaku\\_kaikou/pdf/gaiyou/gaiyou.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/taisaku_kaikou/pdf/gaiyou/gaiyou.pdf)
- 3) 堀宗朗，宮嶋宙，犬飼洋平，小国健二：地震時避難行動予測のためのエージェントシミュレーション，土木学会論文集 A(Web)，Vol.64 No.4 pp1017-1036，2008
- 4) 大上俊之，渡邊卓也，小山 茂：マルチエージェントモデルを用いた道路網の防災性能評価，土木情報利用技術論文集 18，pp215-222，2009
- 5) 桑沢敏行，片田敏孝：震災状況下における津波被害の発生構造に関するシミュレーション分析，土木学会論文集 D，Vol.64 No.3，pp380-390，2008
- 6) 黒田貴司：雌阿寒岳噴火を想定した広域避難行動のための情報提供に関する研究，北見工業大学修士論文，2009
- 7) 片田敏孝，桑沢敏行，金井昌信：発災時刻の都市アクティビティを考慮した津波による人的被害量の推定に関する研究，土木学会論文集 D，Vol.63，No.3，pp275-286，2007
- 8) 志鎌隆：マルチエージェントシミュレーションを用いた広域流動に対する津波の被害リスクに関する研究，北見工業大学修士論文，2010