

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

A Study on damage risk of tsunami against wide area mobility using MultiAgentSimulation

北見工業大学大学院

北見工業大学

日本データサービス株式会社

○学生員

正員

志鎌 隆

高橋 清

澁谷 健一

(Takashi Shikama)

(Kiyoshi Takahashi)

(Kenichi Shibuya)

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、最東端にオホーツク海と太平洋に囲まれるように位置し、日本海溝型・千島海溝周辺海溝型地震に関した特別措置による推進地域の一つに指定されている。根室市では19世紀半ばより、14回もの地震津波が発生しており、人的、物的被害を受けてきた。近年の特徴として、2006年11月15日の千島列島で発生した地震による津波に関する行政ヒアリング調査結果によると、避難所に避難した住民は31,426人中900人と少ないことや、避難の主な交通手段は自家用車であった¹⁾。

一方、500年間隔津波を想定したシミュレーションでは、地震発生後根室地域の太平洋側での津波襲来時刻は約15～20分と想定されている²⁾。そのため、行政機関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が、パトロール車の巡回だけでは自家用車で移動する地域住民や観光客への情報提供は困難であると考えられる。また、提供する情報も具体的な冠水地帯を伝達出来ないと考えられる。よって、根室市の防災計画で「いつ、どの機関が、何をするか」を明確にすることで津波の被害リスクを軽減する必要がある。

そこで本研究では、根室地域で広域流動を行う地域住民および観光客に着目し、マルチエージェント・シミュレーション（以下、MAS）を用い、通行規制の順序による津波の被害リスク軽減への影響について検討することを本研究の目的とする。

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も、避難シミュレーションを用いた分析は数多く存在する。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³⁾、道路網の防災性能評価を行っている研究⁴⁾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⁵⁾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⁶⁾も行われている。しかし、これらはいずれもミクロな視点による避難シミュレーションであり、自家用車の広域流動を考慮した避難シミュレーションについての研究事例は多くない。

本研究と同様な問題意識を持つ研究には、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黒田⁷⁾の研究が挙げられる。この研究では、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、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。課題としては、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。

そこで本研究では、MASを用いた津波シミュレーションを実施し、津波襲来時における通行規制やパトロール車による情報提供の順序を検討し、根室地域の地域住民と観光客の推定したODパターンにおいて、警察によるパトロール車によるパトロール車の巡回ルートや通行規制の順序を検討し最も被害リスクを軽減できる順序を検証する。

3. 根室地域の津波防災の現状と道路ネットワーク

3.1 根室地域の道路ネットワーク

根室地域の主な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。また、根室地域では、津波防災対策のための道路情報版や交通遮断機、津波注意喚起看板などが設置されており、津波に対する減災への対策をとられている。本研究のシミュレーション対象地となる根室地域の道路ネットワークと浸水箇所を図-1に示す。

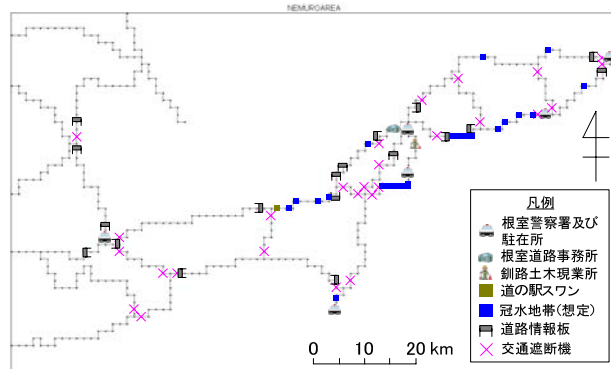


図-1 道路ネットワークと想定される浸水箇所

3.2 根室地域における津波防災の現状

根室地域における津波防災の体制の1つに通行規制が挙げられているが、現状では多くの困難が予想される。その理由として、①津波注意警報発表と通行規制のルールが明確ではないこと、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こと²⁾等といったものが挙げられる。実際に、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根室市花咲港で30cmの第1波が観測されたものの、根室地域では通行規制は実施されていない⁸⁾。

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 シミュレーションの概要

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、異なる動きをすると考えられる。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、マルチエージェント・シミュレーション（以下、MAS とする）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、自家用車による広域流動における避難行動モデルを作成し、交通規制や警察パトロール車による巡回など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。OD パターンは、根室地域を対象とした PT 調査は実施されていないため、本研究では 1999 年に釧路都市圏で実施された PT 調査による生成原単位の値を用いて発生交通量を算出し、OD パターンを想定した。

また、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、座標軸上で等間隔に配置したノードを 459 個と交差点ノードを 19 個と設定した。

さらに、想定する津波としては、遠地で発生した地震が原因で発生する津波を想定してシミュレーションを実施する。

4.2 想定シナリオ

今回は自家用車による広域流動を対象に、車両数がより多い期間として7月の観光シーズンの日中と設定し、被害リスクを評価する。

シナリオは次の通りである。午前 10 時に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、数分後に①道路情報表示板から避難情報の提供、②テレビやラジオ、カーナビによる避難勧告、③根室警察署及び各駐在所を基点としたパトロール車の巡回、が開始される。その後、根室市消防本部から車両による広報活動の実施、避難所の開設が行われる。地震発生から約 20 分前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冠水地点が発生する。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、ラジオやカーナビなどから避難情報を受取る。しかし、中にはラジオやカーナビによる避難情報だけでは信頼できない、具体的な冠水地帯の場所を把握することが出来ない、といった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板や交通遮断機、警察・消防車両、道路パトロール車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する。

4.3 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 箇所で発生するものとし、エージェント数はグラビティモデル法より推定した OD 表における発生交通量の各割合から配分した。また、最終目的地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。エージェントの行動ルールとして、各 O の地点から目的地 D に到着した際、一定のステップ数観光地に滞在し、その後は別の目的地に向かって移動するように設定した。

(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 18 箇所に設定した。道路情報表示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、既存研究におけるアンケート調査のデータ⁷⁾を基に 65.4% と設定した。

(3) 警察によるパトロール車

警察署及び各駐在所から出動するパトロール車については、各駐在所からは 1 台ずつ、根室警察署からは 3 台として巡回が行われるものとする。パトロール車は、巡回で地域住民及び観光客に近づいた際に避難勧告を実施し、勧告を受取った車両は避難行動を開始する。警察によるパトロール車の走行ルートの一例を図-2 に示す。

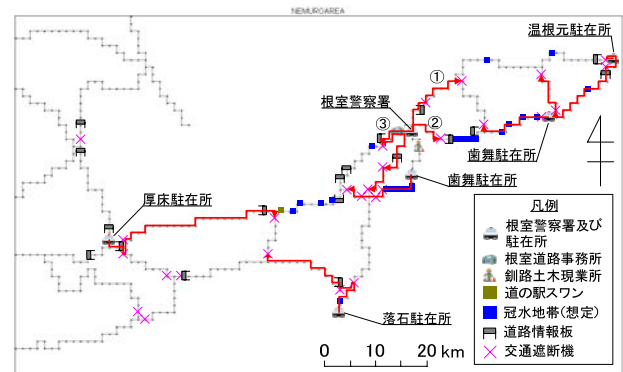


図-2 警察のパトロール車の走行ルート（一例）

(4) 通行規制

通行規制を行う交通遮断機も同様に、実際の設置箇所に基づいて合計 27 箇所に設置した。通行規制の実施時

刻は、根室警察署および駐在所からの巡回の走行ルート上で到着する時刻を基に設定した。交通遮断機の設置箇所で行われてから、規制地点に近づいた車両は避難行動を開始して走行ルートを迂回する。

4.4 通行規制の実施による被害リスク分析

通行規制を実施する場合のシナリオは次の通りである。

津波警報発令後、警察官が各交通遮断機に向かい、通行規制および交通止めを実施する。ここで、通行規制とは、簡易バリケードや津波注意喚起看板の設置など点により冠水地帯などの危険地帯への侵入を防ぐもので、車両エージェントは危険地帯から逃げる方向への走行のみ可能とする。通行止めとは、交通路を遮断することで危険地帯への侵入を完全に抑えるものである。区間内を走行する車両を区間外へと追い出し、車両がいないことを確認してからではないと実施できないものとする。区間外へと避難行動を開始した車両エージェントは、シミュレーションにおいて、属性が変化し青色に変化することで表現している。また、シミュレーションで用いた車両台数については、根室地域における人口総数の4分の1を基にしている。時系列変化を示すステップ数については、シミュレーションのノード配置作成で参考にした地図の縮尺と車両エージェントが1ステップで進む座標上での距離より、1ステップあたり約10秒と設定した。

通行規制を実施するタイミングについては、根室警察署から3台、各駐在所から1台ずつパトロールカーが出動し、巡回ルートを走行する交通遮断機までに到着可能なステップ数を基に実行するものとした。

(1) 通行規制及びパトロール車による巡回が実施されない場合

まずは、通行規制や警察のパトロール車による巡回などが実施されない場合を想定したシミュレーションを実行した。累積被害車両数の時系列変化を図-3に示す。

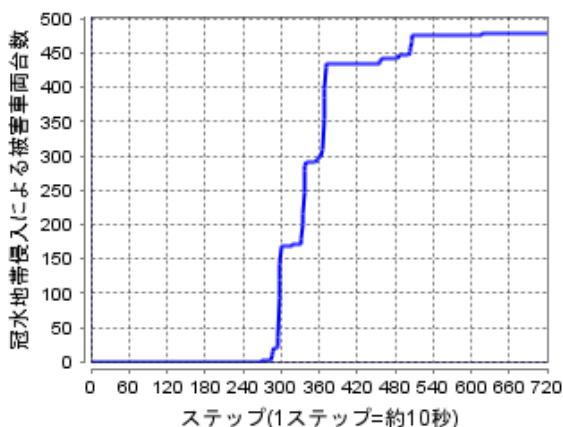


図-3 累積被害車両数の時系列変化（通行規制無し）

(2) 道路情報表示板により避難情報が周知された場合

次に、通行規制やパトロール車による巡回が実施されない一方で道路情報表示板による避難情報の提供が行われた場合を想定したシミュレーションを実行した。道路情報表示板のみを実施した場合による累積避難開始車両数の時系列変化を図-4、累積被害車両数の時系列変化を図-5、累積避難開始車両割合の時系列変化を図-6に示す。図-4では、目的地に到着する前に道路情報表示板から

の避難情報に従い避難行動を開始した車両台数と、避難情報を受け取れないあるいは従わない状態で目的地に到着した車両台数を示している。図-5では、道路情報表示板からの避難情報を受け取れないあるいは従わないことにより冠水地帯で被害を受ける車両台数を示している。図-6における累積避難開始車両割合とは、地域住民の全車両エージェント7,251台の内、道路情報表示板からの情報提供に従い避難を開始した車両台数を示している。

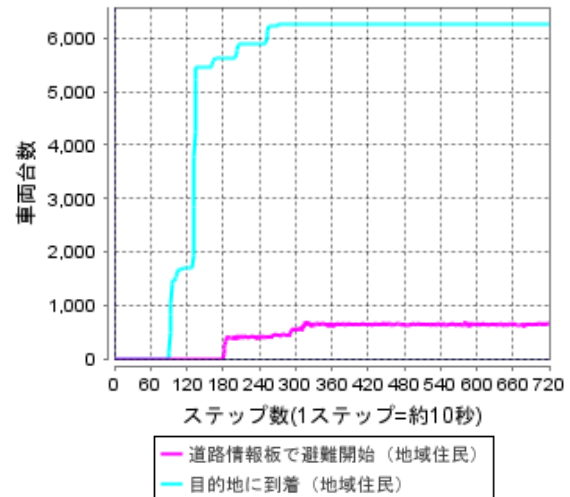


図-4 累積避難開始車両数の時系列変化

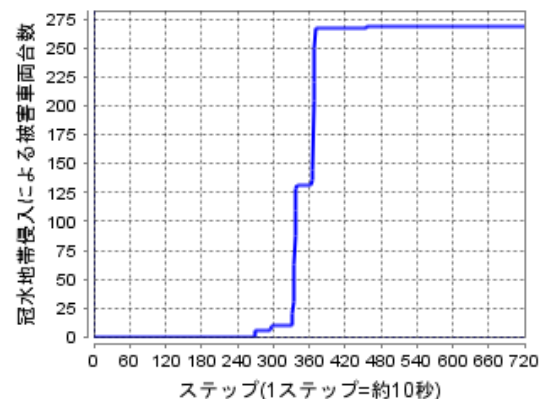


図-5 累積被害車両数の時系列変化

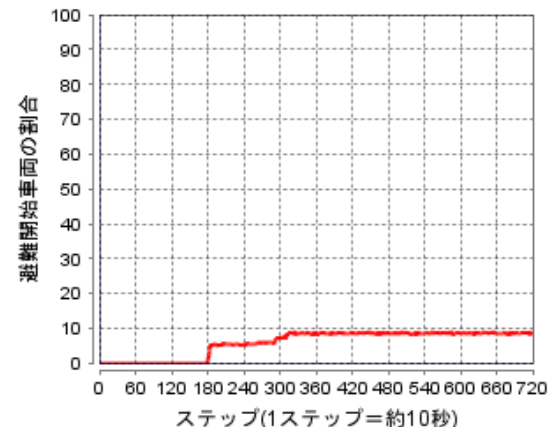


図-6 累積避難開始車両割合の時系列変化

(3) 通行規制を実施した場合

続いて、通行規制の順序の違いによって、津波の被害リスクの軽減にどのような影響を及ぼすかを検討する。ここでは、津波警報発令と共に道路情報表示板による情

報提供が行われることとし、2つのケースを想定してシミュレーションを実行した。ケース1では、全ての交通遮断機を使用することによって、通行規制を実施した場合を想定している。ケース2では、全ての交通遮断機による通行規制を行わず、危険とされる冠水地帯エリアへの進入に直接関わる交通遮断機に焦点を当てて、通行規制を実施した場合を想定している。

通行規制の順序は、根室警察署および各駐在所からそれぞれ設定したパトロールカーの台数により、交通遮断機に到着するまでにかかるステップ数を基に設定した。なお、ケース1, 2ではどちらも冠水地帯へ侵入した被害車両数が0であったため被害車両数のグラフは省略した。以下にケース1における通行規制と道路情報標示板による情報提供が実施された場合の累積避難開始車両台数の時系列変化を図-7、累積避難開始車両割合の時系列変化を図-8に示す。

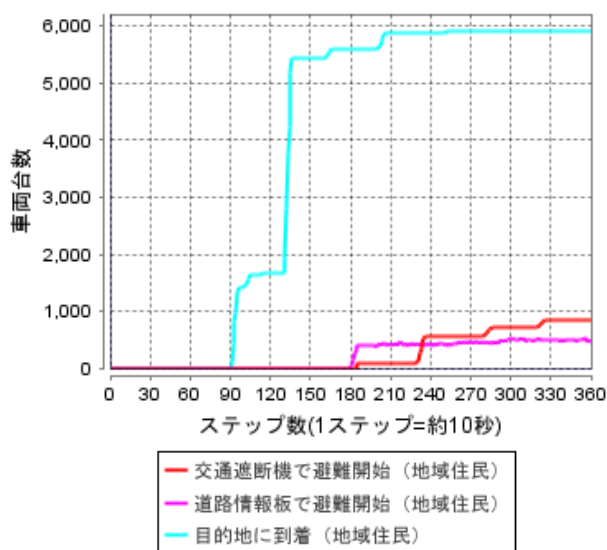


図-7 累積避難開始車両台数の時系列変化 (ケース1)

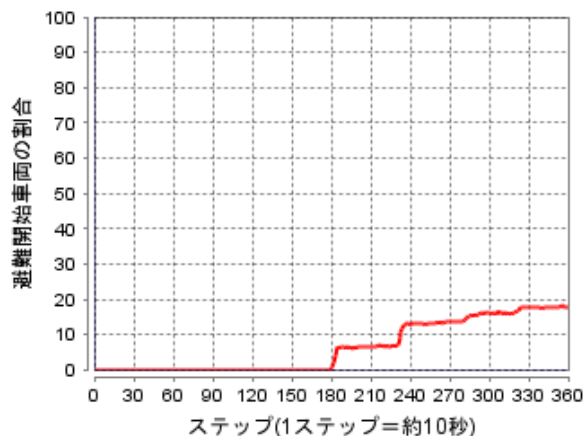


図-8 累積避難開始車両割合の時系列変化 (ケース1)

4.5 考察

道路情報標示板による情報提供の有無による累積被害車両数を比較すると、情報提供を行うことで被害車両数が約200台軽減していることがわかる。また、累積被害車両数が最大になるまでにかかるステップ数に着目すると、約50ステップ(約8分20秒)ほど早くなっている

ことがわかる。

続いて、通行規制と道路情報表示板の両方が実施された場合では、道路情報表示板をトリガーとした避難した場合の車両台数と、通行規制をトリガーとして避難した場合の車両台数には大きな差はなく、津波警報発令後の時点で目的地に到着可能な車両は約73%であることが明らかとなった。これは、警報発令後に警察署及び駐在所から交通遮断機の設置箇所に向かい、通行規制を実施しても約27%の車両にしか避難情報を提供することが出来ないことを示している。花咲港地区-根室市街地を通る一般道道310号線には交通遮断機が設置されていないため、多くの車両が花咲港に到着することが想定される。しかし、花咲港地区は地区全体に浸水が想定されているため、多くの地域住民及び観光客は浸水被害を受けると考えられる。そのため、避難開始の車両割合を増やすためには、警察署だけではなく道路事務所や土木現業所などのその他機関と密な連絡を取り、早期の通行規制を実施することが必要であると考えられる。

5. おわりに

本研究では、広域流動を取る地域住民および観光客を対象にMASを用いることで、通行規制の実施が津波の被害リスクの軽減にどの程度影響するのかを検討した。

その結果、道路情報表示板の情報提供より被害車両数の軽減が可能であるが0にすることは出来ず、警察署および各駐在所から交通遮断機設置箇所までの到着時刻による通行規制の実施では、避難情報を十分に提供できないことを課題として示すことができた。

【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) 根室地域防災体制検討会 資料：釧路開発建設部，2009
- 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) 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 北海道開発局：平成22年チリ中部沿岸で発生した地震による津波の対応について，2010

http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/press/press_h2202/100228_3.pdf