

023

自動車運転者に対する津波発生時の避難支援に関する研究

Study on vehicular evacuation in case of tsunami

13TM0320 榊 想太郎
Sotaro Sakaki

指導教員 丸山 喜久

SYNOPSIS

This study developed a driving simulator with a tsunami inundation scenario to perform a series of experiments on evacuation by automobile drivers. To achieve the objective, the authors performed numerical simulation of tsunami propagation, and the results were visualized from the view of a driver using 3D computer graphics (CG). The CG was installed to the driving simulator. 31 examinees were employed for the driving simulator experiments. In these experiments, route guidance to the evacuation spot by car navigation system was installed, and the tsunami hazard map was also displayed. In a future study, the effective measures to transmit the evacuation information will be discussed through the results of further experiments.

1. はじめに

中央防災会議の報告¹⁾によると、東北地方太平洋沖地震のケースでは避難者の約 57%が津波からの避難に自動車を利用している。高齢化が進んでいる状況や要援護者とともに避難する必要性があり得ることを考慮すると、今後自動車に依存した避難は助長される可能性が考えられる。また、避難できる高台が非常に離れているなどの地形的状況によっては、自動車による避難がやむを得ない実情もある^{2),3)}。こうした実情から、自動車を利用した際の避難規定を早急に策定する必要がある。また、東京都市圏パーソントリップ調査では私事目的のトリップ数が増加しており⁴⁾、今後沿岸部の観光地などでは土地勘のない運転者についても津波発生時の避難誘導の必要性は高いと考えられる。

現在、地域全体を見渡す鳥瞰図的な視点の津波シミュレーションや、歩行者に対する標識等の避難支援設備の導入は事例がみられるものの、自動車に対する避難誘導設備の効果や運転者への情報配信について定量的に評価することは行われていない。このことから、自動車運転者への避難支援方法の検討は津波来襲時の自動車避難に対する啓発、沿岸部での津波減災のソフト面の対策立案として検討に値すると思われる。

そこで、本研究では、明応型地震⁵⁾による浸水の影響が大きいと予測されている神奈川県鎌倉市を対象地域として、バーチャルリアリティ (VR) 空間内に道路、建物、信号、鉄道等を適宜配置し走行実験コースを作成した。これを用いて、実際に自動車を運転中に津波が発生した際の運転体験シナリオを構築した。この VR 空間を、大画面モニタ、ハンドル、アクセル、ブレーキペダルからなる簡易ドライビングシミュレータに取り込み、被験者を募り模擬走行実験を行った。走行実験では、津波情報を運転者へより効果的に伝達する方法を検討すべく、高台への経路案内やハザードマップを実装した走行シナリオをドライビングシミュレータ上に構築し、比較検討を行った。

2. 津波数値解析と3次元都市モデルの構築

本研究では、神奈川県鎌倉市を対象地とし明応型地震を想定した津波氾濫シミュレーションを実行する。波源モデルは、神奈川県策定の「津波浸水予測図」明応型地震⁶⁾の

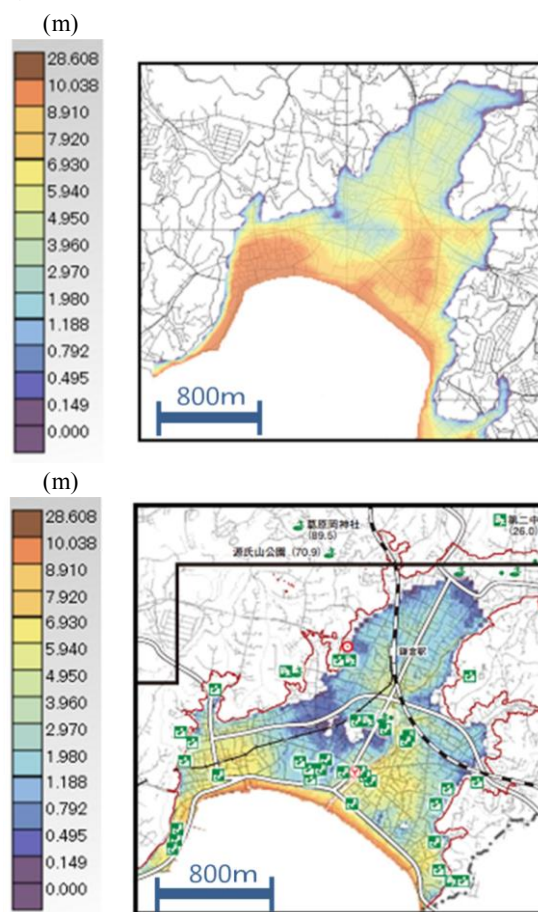


図1 最大浸水深分布の比較
(上：本研究，下：神奈川県津波浸水予測図⁶⁾)

ものを用いた。なお、本研究では堤防の影響は考慮しないこととする。解析結果の最大浸水深分布を神奈川県策定の津波浸水予測図と比較する(図 1)。解析メッシュのサイズや Manning 粗度係数⁷⁾の設定値が本研究と神奈川県津波浸水予測図⁶⁾では異なるため、両者は厳密には一致していない。しかし、大きな浸水深の分布が比較的類似していること、本研究は津波遡上を可視化することを目的としていることの両方を踏まえて、この津波遡上解析結果を VR 空間へ読み込み、津波氾濫時の水面 CG を VR 空間上へ表現することとした。

シミュレーションコースを作成するために使用したソフトウェア UC-win/Road⁸⁾ は、「合意形成を支援するための 3 次元 VR シミュレーションソフトウェア」である。まず、本ソフトに搭載されている国土地理院の全国 50m メッシュ標高地形データから地形を選択し、対象範囲の地形上に GIS 道路データを読み込み道路の平面線形を定義する。さらに、断面、勾配やテクスチャなどを個別に設定できる。また、空間内に建造物や樹木、電柱、電線等を適宜配置することで景観を形成し、信号機モデルは動作設定を行うことで、信号制御やそれに従った交通が再現できる。本研究で作成した都市モデルの概観を図 2 に示す。津波遡上の解析結果を 3 次元都市モデルへ入力し、地理座標の設定を行うことで、作成した空間内で津波遡上 CG が生成される。これをもとに、走行実験用の運転体験シナリオを構築する。運転体験中に自車が津波に冠水した地域へ侵入するか、津波に飲み込まれると、図 3 のように津波が迫る様子や車両が冠水する様子を運転者の視点で再現できる。



図 2 本研究で構築した 3 次元都市モデルの概観



図 3 津波冠水時の運転者目線からの浸水状況の様子

3. 被験者による走行実験の実施

(1) 走行実験の概要

本研究で用いる簡易ドライビングシミュレータは、大画面モニタとハンドル、アクセル、ブレーキからなるものである(図 4)。実験に際し、本研究では「新しいドライビングシミュレータの動作確認のため」と称し、千葉大学の学生 31 人(男性 16 人、女性 15 人)を募り、走行実験を行った。実

験の際、被験者には走行中に津波が発生することは告知せずに実験を行った。また、実験前にドライビングシミュレータの操作感覚に慣らすため、同じコースで津波シナリオを再生させずに試走させた。走行コースの紙地図を被験者に配布し、コースや対象地の地勢を説明した。実験中は、被験者の反応特性を分析するため、車速、ハンドル操舵角、アクセル・ブレーキ操作量、走行軌跡等の走行ログデータを記録した。また実験後には、心理状況や運転行動に関するアンケート調査を実施し、津波をどの時点で認知したか、どのような避難行動をとったかなどを調査した。



図 4 保有する簡易ドライビングシミュレータ

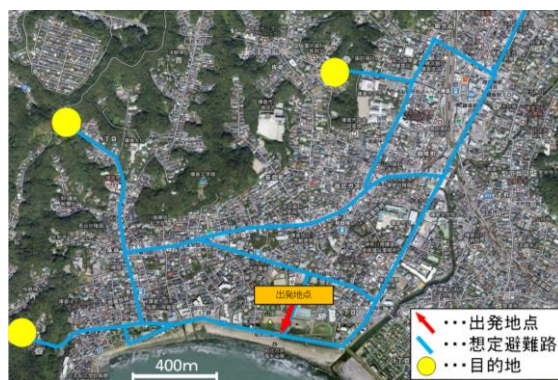


図 5 コース説明用の紙地図

本研究では、4 つのシナリオを構築し、運転者に対する避難誘導方法を比較検討する。すべてのシナリオにおいて、運転開始後 160m の地点で緊急地震速報の警告音とスクリーン上に「津波、避難」という文字情報を表示させることで津波警報を被験者に伝達した。本実験では、警報の 5 分後に津波の最大波が沿岸部に来襲する。実験は、高台(事前に目的地として被験者に通知)へ到達するか、津波に冠水するかで終了とした。

シナリオ(1)では、経路案内を実装せず、実験前の試走や紙地図(図 5)を参考に被験者が運転を行う。シナリオ(2)では、実験開始地点における最寄りの高台を目的地としたカーナビによる経路案内を実装する。これはシナリオ(1)と比較して、経路案内表示(図 6 左)の有無が経路選択へ与える影響を測るものである。経路案内表示を実装した走行中の画面を図 5 に示す。

また、実験開始地点から最寄りの高台方面が渋滞⁹⁾している状況で、当初の目的地を案内し続ける経路案内表示(図 6 左)と、走行中の位置周辺の予想浸水深と浸水域を示したハザードマップ¹⁰⁾(図 6 右)を表示するものを比較する。それぞれ前者をシナリオ(3)、後者をシナリオ(4)とする。シナ



図6 カーナビによる経路案内画面(左)とハザードマップ¹⁰⁾との連動(右)の例



図7 経路案内を実装した走行中の画面

リオ(3)とシナリオ(4)では、目的地である高台へ向かう途中に混雑に気づいた際、予想浸水深や浸水域の表示といった避難情報提供の有無が避難行動へ与える影響を比較する。

(2) 走行実験結果の分析

図8～図11に各被験者の走行軌跡を示す。シナリオ(1)の被験者は、警告音を受信後7人が加速を止めたり車速を落としたりし、そのうち2人が警告音に驚き停止している。緊急地震速報の警告音によって運転者が停車することがあるのは既往研究¹¹⁾で指摘されている通りである。急な減速は望ましい運転行動ではないため、やむを得ず停車する際にはハザードランプを点灯するなど追突事故を防止するための運転心得¹²⁾の周知や防災教育が必要である。津波の発生に伴い、試走した際の走行経路から離れて出発地点から最寄りの高台への避難に成功したのは1人である。また、走行中に信号待ちなどで波に迫られながらも試走と同じルートを通り2人が高台へ避難することに成功した。実験前に1度試走させたり、走行コースの紙地図を配布し対象地の地勢について事前に説明したにもかかわらず、試走で通らなかった道路を走行し津波から逃げ切れなかった被験者が多く見られた。

シナリオ(2)では、1人が警報直後に経路案内を無視し、脇道を利用して他の高台へ避難した。それ以外の4人は警報後も経路案内に従って走行し、最寄りの高台へ到達することに成功している。安全な走行経路・避難場所の位置の両方を運転者へ伝達することで、シナリオ(1)と比較して避難成功率が向上したと考えられる。このことから、津波時には、安全な走行経路選択および目的地とするべき高台の位置の両方について、運転者へより積極的に情報提供を行うことが望ましいものと考えられる。

シナリオ(3)では、8人中6人の被験者が経路案内に従って走行し、そのうち5人が渋滞に追従し運転を続けて津波に冠水した。経路案内に従って走行した被験者は、他の高台



図8 被験者の走行軌跡と避難の可否(シナリオ(1))



図9 被験者の走行軌跡と避難の可否(シナリオ(2))

を目指すより渋滞が解消されるのを待つことがよいと判断し、11分30秒程度渋滞に追従し運転を続けた。また、実験開始からの所要時間は、最寄りの高台手前に津波が来襲する16分30秒程度を要した。渋滞を見て脇道に入った被験者は1人で、目的地以外の高台への避難に成功している。

シナリオ(4)では、ハザードマップを利用し、混雑を回避し避難に成功したのは被験者8人のうち3人であった。2人は最寄りの高台を目指し渋滞に遭遇し、脇道を利用して他の高台への避難に成功した。1人は走行中にハザードマップ表示で津波避難ビルを見つけてその地点へ向かい、避難に成功している。冠水した被験者は、いずれも高台へ向かう意思を持ったものの、具体的な避難経路が表示されず道に迷ったり、警報直後から走行速度が遅くなり、避難が遅れ冠水した。最寄りの高台への避難が困難な状況下では、予想浸水深や現在地周辺の浸水分布を示すことでは、避難に成功した被験者を劇的に増加させることはできなかった。被験者の行動や運転判断の理由から、高台への最短経路や予想浸水深の分布に加えて、複数の避難経路や地点ごとの高台の方向、周辺の交通状況等、更なる避難行動をとる上での判断材料を運転者へ提供する必要性が考えられた。

4. まとめ

本研究では、現実の道路線形、地形データにもとづいた3次元都市モデルに、数値シミュレーションで得られた津波氾濫シナリオを入力し、津波体験ドライビングシミュレータを構築した。これを用いて、31人の被験者を募って模擬走行実験を行った。



図 10 被験者の走行軌跡と避難の可否(シナリオ(3))



図 11 被験者の走行軌跡と避難の可否(シナリオ(4))

すべてのシナリオにおいて、事前に津波の避難実験であることは周知せずに被験者を募った。また、実験中の津波情報は、緊急地震速報の警報音と「津波、避難」という文字情報だけである。このような実験条件の下での結果を分析すると、津波警報を受信した被験者は、大半が直後に高台を目指す意図をもったことが分かった。このことから、構築した津波遡上シナリオは避難誘導設備の検討に適用できるものと考えられる。一方、より実況に即した状況を再現すべく、地震による道路の陥没や倒壊した建物による道路の閉塞、避難中の歩行者の反映などを今後進める必要がある。

シナリオ(1)とシナリオ(2)より、経路案内機能を実装することで避難成功率が向上したこと、カーナビ等を使用して安全な走行経路と避難場所の位置を運転者へ伝達することは効果的であると考えられる。

一方、シナリオ(3)より、避難場所の収容台数が限界に達していたり付近が他の避難する自動車で渋滞していた場合、経路案内に従うことで却って避難が遅れたり困難になってしまう恐れもある。ハザードマップ表示と予想浸水深を実装したシナリオ(4)では、山の見える方へ走行したり浸水深の表示を参照するなどし、避難に成功した被験者は3人に増加している。しかし、事前練習と同様の経路案内が表示されないことで、道に迷ったり避難経路が表示されと考え浸水域へ向かい冠水した被験者が存在した。状況によ

ては、周囲の自動車の動向や複数の避難経路を示す、またその際に同じ予想浸水深の箇所であっても到達時間が遅い浸水域を通して避難する様に誘導するといった判断材料を運転者へ提供する必要も推察された。

今後の展望として、津波情報と併せ、周囲の交通状況や推奨避難経路を実装し、より効果的な判断材料を運転者へ提供することが考えられる。それらを実装して更に検討を進めることで、最適な避難誘導方法の提案を目指す。現状では自動車による避難は禁止されており、津波時の避難は危険を伴うことは事実である。避難情報を高度化することによって、自動車に乗車中の際や、自動車を迅速に避難させることで他の歩行者に対しても、避難行動におけるリスクの軽減に貢献できることを目標とする。

謝 辞

本研究で使用した津波数値解析プログラム TUNAMI-CODEは、東北大学災害科学国際研究所の越村俊一教授に提供して頂いた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 中央防災会議：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告，2011.
- 2) 三上卓：東日本大震災の津波犠牲者に関する調査分析～山田町・石巻市～，第 33 回地震工学研究発表会講演論文集，土木学会，CD-ROM，Paper No. 6-547, 8p, 2013.
- 3) 三上卓，後藤洋三，佐藤誠一：東日本大震災津波襲来時の石巻市における住民の行動調査，土木学会第67回年次学術講演会講演概要集，pp. 367-368, 2012.
- 4) 東京都市圏交通計画協議会：パーソントリップ調査からみた 東京都市圏の都市交通に関する 課題と対応の方向性，2012.
- 5) 神奈川県：「津波浸水予測図」明応型地震，<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f360944/p393023.html>，2012. (2015年1月26日閲覧)
- 6) 神奈川県：新たな津波浸水予測図解説書，神奈川県県土整備局，2012.
- 7) 小谷美佐，今村文彦，首藤伸夫：GISを利用した津波遡上計算と被害推定法，海岸工学論文集，第45巻，pp.356-360, 1998.
- 8) FORUM8：UC-win/Road，<http://www.forum8.co.jp/product/ucwin/road/ucwin-road-1.htm> (2015年1月26日閲覧)
- 9) カケアガレ！日本：<http://kakeagare.jp/#id88> (2015年1月23日閲覧)
- 10) 鎌倉市防災安全部総合防災課：鎌倉市津波ハザードマップ(材木座から稲村ヶ崎)，2014.
- 11) Maruyama, Y., Yamazaki, F., and Sakaya, M.: Experiments of earthquake early warning to expressway drivers using synchronized driving simulators, Earthquake Spectra, Vol. 25, No. 2, pp. 347-360, 2009.
- 12) 気象庁：一般向け緊急地震速報の利用の心得，http://www.data.jma.go.jp/svd/eeew/data/nc/koudou/kokoro_e.pdf, 2013. (2015年1月26日閲覧)