

ドライビングシミュレータを用いた津波避難実験による避難誘導方法の検討

Proposal of evacuation guidance based on driving simulator experiment during tsunami

16TM0342 小山 天城
Koyama Amagi

指導教員 丸山 喜久

SYNOPSIS

This study performed a series of driving simulator experiments to investigate an effective way to transmit evacuation information to drivers in case of tsunami. The traffic information was transmitted through a car navigation system, and eye movements were recorded during an experiment. The 28 examinees were employed for the three types of experiments, and the results were compared to reveal the effective way to transmit the information to the drives. According to the results of the experiments, the information of traffic congestion is not sufficient to improve the evacuation rate. However, hazard map is an effective tool to notice the tsunami-inundated area to the drivers.

1. はじめに

2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震が発生し、東北地方の太平洋側を中心に津波による甚大な被害が生じた。その際、沿岸部を走行中の自動車に津波に巻き込まれ、多くの人々が犠牲となった。津波来襲時の自動車による避難は、渋滞や事故の恐れや、徒歩による避難者の円滑な避難を妨げる恐れがあることから原則として禁止されている¹⁾。しかし、中央防災会議の報告²⁾によると、東北地方太平洋沖地震では避難者の約57%が避難時に自動車を利用している。これを受けて現在の我が国の方針としては、津波発生時の避難については原則徒歩としつつ、やむを得ず自動車により避難せざるを得ない場合は自動車の使用を認めている³⁾。また、高齢化が進んでいる現状や、要援護者とともに避難する必要性があり得る⁴⁾ことを考慮すると、今後自動車による避難は増加すると予想される。さらに、避難できる高台が離れているなど、自動車による避難がやむを得ない実情もある^{5),6)}。そのため、避難時に自動車を利用した際の避難のあり方を早急に策定する必要がある。

この問題に対し榊・丸山^{7),8)}は津波が発生した際の自動車運転を体験できるドライビングシミュレータを用いたシミュレーション実験を行い、自動車運転者への避難支援方法を検討した。その結果、実験シナリオ中の他車の交通状況を現実に近く改良する必要があることが課題であった。そこで本研究では、既往研究で作成された走行シナリオに震災発生時の交通状況を想定し、周辺他車の影響を考慮できるようにすることを目指す。さらに、シミュレーション実験を行い、実験の結果を基に効果的な避難誘導方法について検討する。

2. カープローブデータに基づく震災時の道路交通状況の把握

震災発生時の交通状況を再現するために、本研究ではまず、宮城県仙台市を対象として東北地方太平洋沖地震発生当時のカープローブデータ⁹⁾の分析を行い、震災発生時にどのような道路が混雑するのかなど、道路交通状況の特徴を把握する。カープローブデータには車両の走行速度や位置情報等の情報が記録されていて、GIS上に表示することで運転者の実際の動きを確認することが可能である。震災発生一週間前の2011年3月4日と震災当日の3月11日のカープローブデータを比較したものが図-1である。東北地方太平洋沖地震発生時の14時46分から3時間ほど経過した17時台では震災当日の方が明らかに走行速度の遅い車両が多く、震災時に道路が非常に混雑していたことが予想できる。

そこで震災発生時に混雑する道路の特徴を把握するために、道路交通センサス¹⁰⁾の一般交通量調査のデータを用いる。一般交通量調査では、道路区間ごとの交通量や、平均速度などのデータが集計されている。仙台市で平常時に混雑する道路を調べるため、道路区間の規制速度 (V_{reg}) に対するカープローブデータの平均速度 (V_{ave}) の比を混雑レベル (R_1) と定義し、道路の混雑程度を評価した(式(1))。

$$R_1 = V_{ave}/V_{reg} \quad (1)$$

この値が小さいほど規制速度に対して走行速度が小さいため、混雑している道路であるとみなした。図-2 は、道路交通センサスに基づく仙台市の平常時の混雑レベルである。

さらに、カープローブデータを用いて、震災当日(14:46～18:46)の混雑レベルを推定した(図-3)。図-2 と図-3 の結果を基に、混雑レベルごとの道路長や、混雑レベルの空間分布を平常時と地震発生時で1時間ごとに比較し、地震発生から約1時間経過すると非常に混雑した道路が増えると考えられた。また、仙台市をマクロな視点で見ると、平常時に混雑する道路は震災発生時も混雑することがわかった。

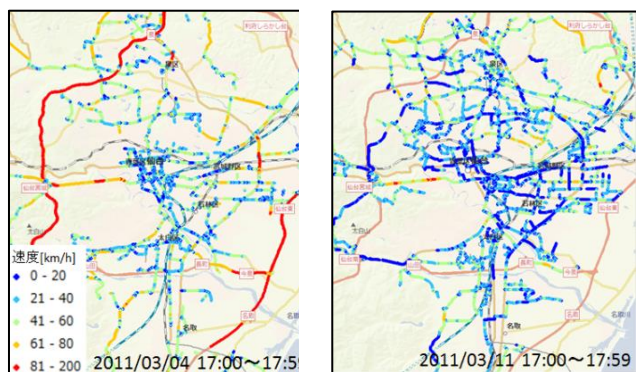


図-1 仙台市における平常時（左）と震災時（右）のカープローブデータの比較

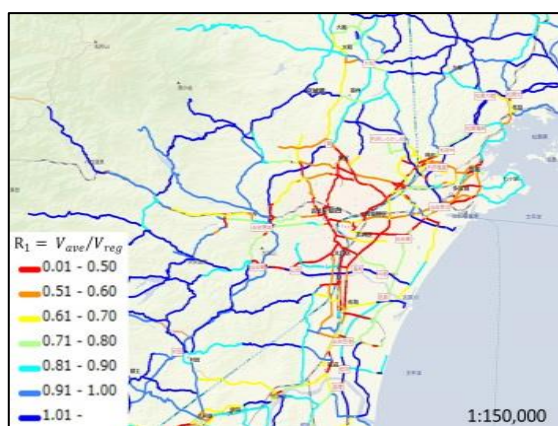


図-2 仙台市における平常時の混雑レベル

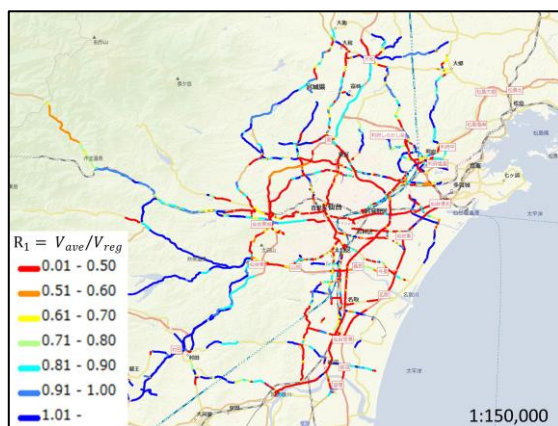


図-3 仙台市における震災当日 14:46~18:46 の混雑レベル

3. 周辺の道路交通状況を想定した走行シナリオの構築

前章の検討結果を踏まえて、ドライビングシミュレータの走行シナリオに周辺の道路交通状況を想定し、反映させる。本研究で使用したUC-win/Road¹¹⁾は、「合意形成を支援するための3次元リアルタイムVRソフトウェア」である。道路を定義し、建造物や街灯等の3Dモデルを適宜配置することでVR(バーチャルリアリティ)空間内に都市の景観を再現することが可能である。

既往研究^{7),8)}では神奈川県鎌倉市を再現した走行実験コースをVR空間内に作成した(図-4)。また、走行実験はワイド液晶画面、ハンドル、アクセル、ブレーキからなる簡易ドライビングシミュレータを用いて行った(図-5)。

本研究では既往研究で作成された走行実験コースをもと

に、震災時の交通状況を反映させた新たな走行実験のシナリオを作成する。具体的には、実際に鎌倉市で平常時に混雑している道路区間を Google マップ¹²⁾の交通状況表示機能をもとに選定し、VR 空間内でその道路区間を渋滞させる。図-6 は実験コースと仮定した渋滞区間である。

既往研究にはなかった新たな避難誘導方法の試みとして、運転画面に渋滞情報を表示し、被験者に渋滞情報を与えるという実験条件で実験を行う。これは、VICS等によってカーナビに渋滞情報が送信されたことを想定したものである(図-7)。



図-4 走行実験コースの概観



図-5 簡易ドライビングシミュレータ



図-6 実験コースと仮定した渋滞区間



図-7 表示されるカーナビ画面
渋滞情報(左)とルート案内(右)

4. 実験1：渋滞情報の提供

(1) 実験の概要

本研究の実験は運転中に津波が来襲し、自動車を運転中の被験者が津波から避難をするシナリオである。実験1では、「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8人を募り、実験を行った。

8人の被験者には津波が発生することは告知せずに実験を行い、運転開始後約500mの地点で、緊急地震速報の警報音とともに「津波！避難！」という文字情報を表示することで津波の発生を被験者に伝達した。また、カーナビの機能として、渋滞の約250m手前の地点で「この先渋滞」というカーナビ音声流れ、運転者に渋滞の存在を伝達した。避難実験は、図-6に示した避難成功地点のいずれかに到達した場合は避難成功、描画された津波に冠水した場合避難失敗で実験終了とした。

本研究では実験中の被験者の反応特性を分析するため、走行ログデータを記録した。さらに、本研究ではゲーム用の視線追跡デバイス（SENTRY GAMING EYE TRACKER）を導入し、実験中の被験者の視線の動きを記録した。

(2) 実験結果

各被験者の走行の軌跡を図-8に示す。被験者1-1～1-7は渋滞に並び、津波に巻き込まれ避難に失敗している。被験者1-8は最終的には避難に失敗したものの、渋滞を回避するルートを選択して走行した。

被験者1-8とそれ以外の被験者の行動の違いを調べるため、各被験者の運転中の視線の動きから、渋滞情報を見た回数と見ていた時間を比較した。1-8以外の多くの被験者は、概して信号待ちの時間にたまに見る程度であった。一方、1-8は津波警報以降に明らかに何度も渋滞情報を確認しており、渋滞情報に注目していたことがわかった。

与えられた情報に注意を向け、津波への対処方法を考えた被験者1-8のみが渋滞を回避したことから、まずは渋滞情報に注意を向けることができるかが、その後の避難行動を左右する一因であると考えられる。



図-8 走行の軌跡（実験1）

5. 実験2：津波情報の強調

(1) 実験の概要

前章の実験結果から、運転者が渋滞情報などの与えられた情報に注意を向けさせるような工夫を追加した新たな実験シナリオを構築し、実験を行う。

実験2では、実験1よりも津波警報が強調されるように変更した。変更点として、警報音の後に「津波が発生しまし

た。避難を開始してください。」という音声メッセージを流すことで運転者に具体的な指示を出した。さらに、切迫感を伝えるため、表示する文字情報を「つなみ！にげて！」に変更し、視認性を高めるため文字を大きく表示した。これはNHKの津波警報の際の避難を呼びかけるテロップを参考にしたものである^{13), 14)}。また、これらの津波警報を、実験1では一度だけ流していたのに対し、実験2では複数回流すことで運転者に切迫感を与えた。

以上の変更点は、被験者に避難すべきだと強く認識させることで、渋滞情報などの避難の際に行動を決める要因となるものに注意を向けさせることが狙いである。実験は新たに千葉大学の学生11人を募り実験を行った。その他の実験条件は、全て実験1と同じである。

(2) 実験結果

各被験者の走行の軌跡を図-9に示す。被験者2-2, 2-4, 2-10以外の被験者は渋滞に並び、津波に巻き込まれ避難に失敗している。被験者2-4は避難に成功している。被験者2-4は警報を聞いた後、海岸から離れる方向へ向かって走行し、高台に辿り着き避難に成功した。しかし、実験後のヒアリング調査では「正直どこを走っているかよくわかっていなかった」と回答している。

被験者2-2と2-10は実験1での被験者1-8と同様に、渋滞に並ぶのは危険と判断し、渋滞を回避するルートを選択して走行した。しかし、最終的には津波の浸水を受け避難に失敗している。

実験2と実験1の結果に大きな差はなく、避難率が向上しているとは言えなかった。渋滞情報を見た回数や運転時間（秒）に対する渋滞情報を見ていた時間（秒）の比を求め、実験1と実験2で比較したところ、実験2の結果が上回っていた。このことから、本実験では津波警報を強調したことによって、避難を意識させ、運転者に渋滞情報に対して注意を向けさせることはできた。しかし、それだけでは、避難率向上の直接的な効果とはならなかった。



図-9 走行の軌跡（実験2）

6. 実験3：ハザードマップの表示

(1) 実験の概要

実験1、実験2の結果から、渋滞が発生しているのはわかっているが、どこへ向かえばよいのかわからず仕方なく渋滞に並ぶケースが見られた。そのため運転者にはどう行動するのがよいか判断するための十分な判断材料を提示することが効果的な避難誘導の鍵であると考えられた。

そこで実験3では判断材料として被験者にハザードマップを提示し実験を行う。実験の流れとしては、実験2と同様

に運転を開始し、津波警報が流れる。その後カーナビ音声で「これより津波の予想浸水深を表示します。」というメッセージが流れ、画面にハザードマップが表示される。このときハザードマップはカーナビ画面に渋滞情報とともに表示される。その他の実験条件は、実験2と全て同じである。本実験は新たに千葉大学の学生9人を募り実験を行った。

(2) 実験結果

各被験者の走行の軌跡を図-10に示す。被験者3-1と3-8は渋滞を回避し、高台を見つけ避難に成功している。被験者3-4、3-5、3-6は渋滞を回避したが、最終的には避難に失敗している。その他の被験者は渋滞に並び避難に失敗している。避難に成功した被験者は9人中2人という結果であったが、5人の被験者が避難経路を選択し、渋滞を回避するという行動をとった。実験1、実験2の結果と比較をすると渋滞情報を見た回数や見ていた時間は実験3の結果が大きく上回っており、避難時にハザードマップを表示することは運転者にさまざまな情報に注意を向けさせる効果があると考えられる。

実験後に、各被験者に対しヒアリング調査を行い、なぜ渋滞に並んだのか、なぜ渋滞を回避しようと思ったのか尋ねた。その結果、渋滞を回避した被験者は、「自分が危険な場所にいるとわかったのですねすぐに離れなければならないと強く思った。」という旨の回答をしていた。また、避難には失敗した被験者3-4、3-5、3-6も高台の位置はわかっていたと回答していた。これらのことから、津波避難時において、自動車運転者に対してハザードマップの情報を提供することは、避難の意識を持たせることができるという点と、避難経路を選択する際の一助になるという点において効果的であると考えられる。



図-10 走行の軌跡（実験3）

7. まとめ

本研究では、効果的な避難誘導の提案を目指し、3種類のシミュレーション実験を行った。カープローブデータや道路交通センサスを用いて東北地方太平洋沖地震発生時の宮城県仙台市の交通状況の特徴を分析し、その結果を既往研究のシミュレーション装置に反映することで、周辺の道路交通状況を考慮したものに改良した。

本研究では、被験者に渋滞情報を提供した場合の走行実験（実験1）と津波情報を強調した場合の走行実験（実験2）、そして被験者にハザードマップを提供した場合の走行実験（実験3）の結果を比較した。

実験1の結果では、津波避難における渋滞情報の有効性は確認できなかったが、運転者が様々な情報に注意を向け

させるような工夫をすることが効果的な避難誘導の鍵であると考えられた。実験2では、実験1より渋滞情報に注意を向けさせることができた。しかし、渋滞情報に注意を向けさせるだけでは避難率向上の効果は大きくなく、被験者がどう行動するか判断するために十分な情報を提示する必要があると考えられた。

実験3では、ハザードマップを提示したことにより避難率が向上し、津波避難時において自動車運転者に対してハザードマップの情報を提供することはとても効果的であるということがわかった。

参考文献

- 1) 総務省消防庁：津波対策推進マニュアル検討報告書（平成14年3月）
- 2) 中央防災会議：東北地方を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査報告会，2011.
- 3) 中央防災会議津波避難対策検討ワーキンググループ：自動車で安全かつ確実に避難できる方策，2012.
- 4) 山本一敏、柳原純夫：東日本大震災における津波からの避難行動パターン、第14回日本地震工学シンポジウム講演論文集、2014年、pp. 3207-3213.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 榊想太郎、丸山喜久：自動車運転者の津波避難実験のためのドライビングシミュレータの構築、土木学会論文集 A1（構造・地震工学）、Vol. 70, No. 4, pp. I_384-I_392, 2014.
- 8) 榊想太郎、丸山喜久：ドライビングシミュレータ実験による津波避難のためのハザードマップ利用の有効性の検討、日本地震工学会論文集、Vol. 16, No. 1, pp. I_274-I_284, 2016.
- 9) 須藤三十三、浦川豪、福重新一郎、濱本両太、林春男：広域的な災害発生後のプローブ情報の活用 - 東日本大震災での事例を通して -、情報システム学会誌、Vol. 8, No. 1, pp. 30-41, 2012.
- 10) 交通工学研究会：平成22年度道路交通センサス一般交通量調査DVD-ROM，2012.
- 11) FORUM8：UC-win/Road，<http://www.forum8.co.jp/>
- 12) Google マップ：
<https://www.google.co.jp/maps/place/@35.333922,139.5057027,13z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x6018459b80ac5619:0x5700747a399f2502!8m2!3d35.3192254!4d139.5466868>
- 13) NHK 放送文化研究所：津波警報・NHKが強い口調で避難呼びかけ，<https://www.nhk.or.jp/bunken/summary/research/focus/545.html>（最終閲覧日：2017年10月30日）
- 14) NHK 放送文化研究所：津波警報改訂でテレビ速報画面が一新，<http://www.nhk.or.jp/bunken/summary/research/focus/570.html>（最終閲覧日：2017年10月30日）