

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 19 日現在

機関番号：12501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26560173

研究課題名(和文)防災ITSに最適な津波避難情報の提案

研究課題名(英文)Driving simulator experiment on vehicular evacuation in case of tsunami

研究代表者

丸山 喜久(Maruyama, Yoshihisa)

千葉大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70397024

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文):本研究では、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て避難実験を行った。避難実験は、カーナビによる経路案内や、津波ハザードマップを走行中に表示するシナリオを用いることとし、被験者の避難行動を浸水情報の周知、経路案内の有無などに着目し、シナリオ間で比較した。実験の結果から、自動車の津波避難成功率を高めるには周囲の交通状況に応じた推奨避難経路を提供することが最も望ましいと考えられるが、その実現は短期的には難しく、道路標識等を活用する、地域内で自動車避難の優先順位付けをする、防災教育を充実するなど、多角的な取り組みが重要と考えられる。

研究成果の概要(英文):The government of Japan had generally recommended evacuation on foot in the case of a tsunami because of the possible traffic congestion, accidents, and entrapment of vehicles by fallen objects and collapsed houses during evacuation by vehicle. In the case of the 2011 Tohoku earthquake, however, 57% of the evacuees used automobiles. Since the population is rapidly aging in Japan, vehicular evacuation must be enhanced in any future event. Based on this background, the aim of this study was to develop a driving simulator with a tsunami inundation scenario. To achieve the objective, a numerical simulation of tsunami propagation was performed assuming an earthquake and tsunami in Kamakura City, Kanagawa Prefecture, of the scale of the 1498 Meio earthquake. Further, a series of driving simulator experiments were performed to verify the safety of vehicular evacuation in the case of a tsunami.

研究分野：都市安全工学

キーワード：ドライビングシミュレータ 津波避難実験 ハザードマップ 東北地方太平洋沖地震

1. 研究開始当初の背景

津波発生時の自動車による避難は、渋滞や事故の恐れがあるため原則禁止とされてきたが、中央防災会議の報告¹⁾によれば、東北地方太平洋沖地震では生存者の約 57%が避難に自動車を利用していった。これには、高齢者が多いという社会的要因と高台が遠いという地形的要因の両方が影響している。このような現状を受けて、中央防災会議は、「津波からの避難は原則徒歩を維持するものの、避難者が自動車で安全かつ確実に避難できる方策について、今後十分に検討する必要がある」としている。東北地方太平洋沖地震の被災地や南海トラフを震源とする地震で大津波が懸念される沿岸地域では、自動車を含めた避難訓練が行われるようになった。

2. 研究の目的

本研究は、ドライビングシミュレータを用いた走行実験によって、自動車運転者の円滑な避難に効果の高い津波情報の内容を明らかにすることを目的とする。情報認知と運転行動の関係を実験的に検討し、国土交通省が展開する防災 ITS の動向を踏まえて、道路情報掲示板やカーナビゲーションシステムから提供される質の高い津波情報を提案する。

3. 研究の方法

(1)津波体験ドライビングシミュレータ

研究代表者らは、自動車運転者の視点から津波の遡上状況を可視化することを目的に、神奈川県鎌倉市を対象地として明応型地震²⁾を想定した津波数値シミュレーション³⁾を実行した。この数値解析で得られた陸域の時空間的な津波浸水深を、神奈川県鎌倉市を模した 3 次元都市モデル内に再現した (図 1)。

自動車運転時に津波が発生したことを模擬することを目的とし、この 3 次元都市モデルをドライビングシミュレータの走行コースとして取り込んだ。本研究で用いるドライビングシミュレータは、1 台のホスト PC と大画面モニターとハンドル、アクセル、ブレーキからなるものである。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 1 の下段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。

(2)走行実験の概要

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) を被験者として募り、4 つの走行シナリオを用いて走行実験を行った。これらの走行シナリオでは、カーナビゲーションシステムを想定した高台への経路案内、津波ハザードマップのディスプレイ表示など、津波情報の伝達方法を走行シナリオごとに設定した。シナリオ間の実験結果を比較し、運転者にとって望ましい津波情報の内容および伝達方法について検



図 1 3次元都市モデルの概観(上段)と運転者目線からの津波浸水状況の様子(下段)

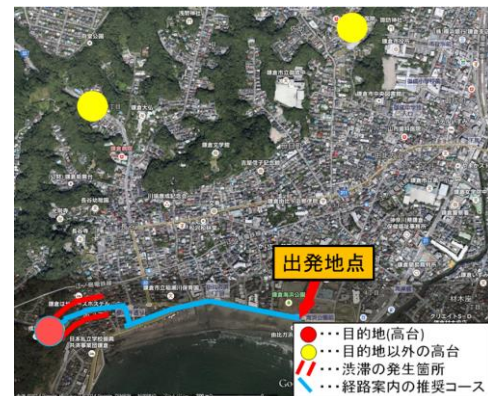


図 2 実験用コース説明地図

討することを目指す。なお、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。走行コースの地図 (図 2) を被験者に配布し、コースや対象地の地勢を説明した。試走では、被験者が運転操作に慣れるまで図 2 に示す範囲の全ての道路を自由に走行することを認めた。

4 つの走行シナリオごとに津波情報の提供方法に関する条件などを設定し、運転者に対する望ましい津波情報の提供方法を検討する。すべてのシナリオにおいて、運転開始後 160m の地点に達すると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によって、津波警報を被験者に伝達した。事前に津波が発生することは周知していないので、被験者が実験中に避難行動をとるのであれば、緊急地震速報の警告音と津波警報が主要因となる。また、警報の 5 分後に津波の最大波が沿岸部に来襲するように津波遡上 CG を設定した。実験は高台へ到達するか、津波に冠水するかで終了とした。

表 1 に、本研究で構築した 4 つの走行シナリオの概要をまとめる。シナリオ(1)では、カーナビによる経路案内は実装せず、実験前の試走や地図 (図 2) を見ながら被験者が津波から避難する。シナリオ(2)では、警報が流れる地点から最も近い高台をカーナビの目的地とした経路案内 (図 2 の青線) が運転者へ提供される (図 3 左)。シナリオ(1)と(2)の結果を比較し、経路案内の有無が避難行動へ与える影響を評価する。シナリオ(3)では、避難所の収容車両台数が限界に達したり、自車以

表 1 走行実験のシナリオの概要

シナリオ	カーナビ表示	ハザードマップ	一部区間の渋滞
(1)	なし	なし	なし
(2)	あり	なし	なし
(3)	あり	なし	あり
(4)	あり*	あり*	あり

*シナリオ(4)は津波発生前はカーナビの経路案内、津波後はハザードマップ表示



図 3 カーナビによる経路案内画面(左)とハザードマップの表示(右)の例



図 4 実験中の運転者前方の画面

外にも避難中の自動車が多数存在したりすることを原因とした渋滞が発生したことを想定した。具体的には、図 2 に示す最寄りの高台方面の一部道路で車列を発生させ、その車列の移動速度を極めて小さく設定した。カーナビから提供される情報は、シナリオ(2)と同じものである。カーナビの経路案内に従ったまま渋滞で待ち続けていると津波で浸水するため、被験者各自の判断で津波から避難することが求められる。シナリオ(4)では、シナリオ(3)と同条件の下、警報後はカーナビの経路案内ではなく図 3 右のように神奈川県が整備した津波ハザードマップを自車周辺について表示した。この目的は、ハザードマップによって予想浸水域と浸水深を運転者へ周知することで、目的地付近の渋滞に巻き込まれたときにシナリオ(3)と異なる避難行動を示す人数が増えるかどうかを評価することである。実験中の運転者前方の画面の様子を図 4 に示す。

4. 研究成果

図 5、図 6 にシナリオ(1)、シナリオ(2)の各被験者の走行軌跡を示す。シナリオ(1)では、被験者 1-5 が出発地点から最寄りの高台への避難に成功した。また、走行中に信号待ちなどで津波に迫られながらも被験者 1-1、被験者 1-8 の 2 人が別の高台へ避難することに成功した。同じルートを通った残りの 3 名(被験者 1-4、1-6、1-7)は、警報音に驚き停止したり、逃げ道を探しながら低速で走行したためあまり遠くまで移動できずに津波に冠



図 5 被験者ごとの走行軌跡と避難の可否(シナリオ(1):経路案内情報なし)



図 6 被験者ごとの走行軌跡と避難の可否(シナリオ(2):経路案内情報あり)

水した。一方、津波警報を受けて、10 人のうち 4 人の被験者が実験前の試走で通らなかった道を走行した。警報受信直後に右折した被験者 1-10 は、同じ方向に避難した被験者 1-2、1-3、1-9 とは異なる経路を走行し、津波から逃げる事ができた。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。また、試走した経路を走行した被験者の中にも、高台まで達することができなかった場合があった。

シナリオ(2)では、被験者 2-3 のみ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。また、避難時間はシナリオ(2)の方が短く、経路案内の影響で迅速に高台へ到達できたものと考えられる。このことから、走行経路や避難場所(目的地)の位置の両方を運転者へ伝達することで避難成功率が向上したものと考えられる。

図 7、図 8 にシナリオ(3)、シナリオ(4)の各被験者の走行軌跡を示す。シナリオ(3)では、8 人中 6 人の被験者が警報後も経路案内に従って走行し、その 6 人のうち 5 人が渋滞に並び続け津波に冠水した。これらの被験者は、実験後のアンケートや聞き取り調査によると、他の高台を目指すより渋滞が解消されるのを待つことがよいと思い、およそ 11 分 30 秒程度の間、車列に並び続けた。被験者 3-7 は経路案内に従って走行し、1 分 55 秒渋滞に



図 7 被験者ごとの走行軌跡と避難の可否(シナリオ(3):経路案内情報あり, 渋滞あり)



図 8 被験者ごとの走行軌跡と避難の可否(シナリオ(4):ハザードマップ表示, 渋滞あり)

並び続けたところで自動車を乗り捨て徒歩で避難する意思を示した。渋滞を見て脇道に入った被験者は被験者 3-1 のみであり、別の高台へ避難できた。このようにシナリオ(3)では、避難に成功した被験者は 2 人に留まった。

シナリオ(4)では、渋滞を回避し避難に成功したのは被験者 8 人のうち被験者 4-1, 4-4, 4-8 の 3 人である。ハザードマップで浸水域を示すことによって、シナリオ(3)よりも多くの被験者が自らの意志で渋滞を避け迂回する行動を示した。この 3 人のうち被験者 4-1 と 4-8 は、脇道を利用して他の高台へ避難した。被験者 4-4 は、迂回中にハザードマップ上に津波避難ビルを見つけ、その地点へ向かい車を降りた。これ以外の被験者に関しては、シナリオ(3)と異なり渋滞に並び続け津波に冠水した被験者は見られなかったが、試走時の経路より広い道を探しながら走行したり、最寄りの高台へ向かう途中で道に迷い浸水域内を走行し続けたり、シナリオ(1)の被験者と同様に警報受信後に走行速度が遅くなり避難が遅れたなどの理由で冠水した。シナリオ(3)と(4)の結果を比較すると、ハザードマップをカーナビで表示することによって、自車の位置が津波による浸水の危険性が高いことを運転者へ伝達することはできたものと考えられるが、シナリオ(4)ではカーナビによる経路案内を行わなかったため、避難成功率

を明らかに向上させることはできなかった。

本研究の走行実験の結果をまとめる。シナリオ(1)と(2)の結果からは、津波発生時には望ましい走行経路や目指すべき避難場所をカーナビ等を通じて運転者へ伝達することが、避難成功率の向上に非常に有効であることが分かる。しかしながら、シナリオ(3)の結果からは、カーナビ等で指示された避難路が渋滞している場合、独自の判断によって津波が来る前に車を乗り捨てたり、迂回しようとするのは難しいものと推察される。そこで、シナリオ(4)としてハザードマップをカーナビで表示し浸水域や浸水深を運転者へ情報提供すると、渋滞に並び続ける被験者はおらず、シナリオ(3)と比べ避難成功者は多かった。しかし、シナリオ(4)の避難成功率が劇的に向上したわけではないため、運転者に浸水域や浸水深の情報を与えるだけでは不十分と思われる。これらの一連の結果から、自動車運転者の避難成功率を高めるには、周辺の交通を考慮した走行経路、目的地(避難場所)の両方をカーナビ等で提供することと考えられるが、それには渋滞の影響を踏まえた走行経路検索であるダイナミックルートガイダンス⁴⁾のような機能を狭域で実現することが求められ、比較的早期の実現は難しいと思われる。そこで、道路標識や電光掲示板の利用などの道路施設対策、本ドライビングシミュレータのような疑似体験装置を用いた防災教育など、多角的な取り組みが必要と考えられる。

<参考文献>

- 1) 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。
- 2) 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>
- 3) Koshimura, S., Imamura, F., and Shuto, N.: Characteristics of on-slope tsunami propagation and the accuracy of the numerical model, *Tsunami Research at the End of a Critical Decade*, pp.163-177, 2001.
- 4) 国土交通省：ITS スポットサービスの内容，http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/spot_dsrc/naiyou.html

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

1. 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. 1_274-1_284, 2016. (査読有)
2. 庄司学, 水野魁人, 高橋和慎, 木原直人, 松山昌史：東北地方太平洋沖地震津波で被災した岩手県山田漁港・防潮堤の被災メカニズムに関する一考察，*土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)*, Vol. 71, No. 4,

- pp. I_167-I_178, 2015. (査読有)
3. 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. (査読有)
 4. Sakaki, S. and Maruyama, Y.: Development of driving simulator with tsunami inundation scenario, Proceedings of the 5th Asia Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 63, 7p, 2014. (査読無)
 5. Shoji, G., Shimizu, H., Koshimura, S., Estrada, M. and Jimenez, C.: Evaluation of tsunami wave loads acting on walls of confined-masonry-brick and concrete-block houses, Journal of Disaster Research, Vol. 9, No. 6, pp. 976-983, 2014. (査読有)

[学会発表] (計 5 件)

1. 板垣治, 丸山喜久: 東北地方太平洋沖地震の際の津波による平面道路の被害分析, 第 35 回地震工学研究発表会, 土木学会, 2015 年 10 月 6 日~7 日, 東京大学生産技術研究所 (東京都目黒区).
2. 板垣治, 丸山喜久: 東北地方太平洋沖地震の津波被災地における平面道路被害分析, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015 年 9 月 16 日~18 日, 岡山大学 (岡山県岡山市).
3. 高橋和慎, 庄司学, 水越勇太: 東北地方太平洋沖地震により被災した橋台周辺盛土の被害把握, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015 年 9 月 16 日~18 日, 岡山大学 (岡山県岡山市).
4. 榊想太郎, 丸山喜久: 自動車運転時の津波避難支援に関する基礎実験, 土木学会第 69 回年次学術講演会, 2014 年 9 月 10 日~14 日, 大阪大学 (大阪府吹田市).
5. 丸山喜久: 防災 ITS による津波情報の提供に向けた試み, 2014 年度年次大会, 日本機械学会, 2014 年 9 月 7 日~10 日, 東京電機大学 (東京都足立区).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://ares.tu.chiba-u.jp/marulab/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

丸山 喜久 (MARUYAMA, Yoshihisa)
千葉大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 70397024

(2) 研究分担者

庄司 学 (SHOJI, Gaku)

筑波大学・システム情報工学研究科・准教授

研究者番号: 60282836