
令和5年度 修士学位論文

アンダーパス警告表示のドライバに対する
情報伝達能力向上に関する研究

指導教員 早川 聡一郎 准教授

三重大学大学院工学研究科
博士前期課程 機械工学専攻
人間支援システム研究室
西村 晟央

目次

| | |
|---------------------------|----|
| 目次..... | 1 |
| 第1章 序論..... | 1 |
| 1.1 研究背景..... | 1 |
| 1.2 研究目的..... | 3 |
| 1.3 本論文の構成..... | 3 |
| 第2章 実験装置及び実験環境..... | 4 |
| 2.1 走行実験装置概要..... | 4 |
| 2.1.1 DS 概要 | 4 |
| 2.1.2 EMR-9 の概要..... | 6 |
| 2.1.3 走行実験環境..... | 7 |
| 2.2 実験内容..... | 16 |
| 2.2.1 表示高さによる視認性の検証..... | 16 |
| 2.2.2 警告表示の情報伝達能力の検証..... | 16 |
| 第3章 実験結果及び考察..... | 25 |
| 3.1 表示高さによる視認性の検証結果..... | 25 |
| 3.2 警告表示の情報伝達能力の検証結果..... | 27 |
| 3.2.1 走行データ評価結果..... | 27 |
| 3.2.2 主観アンケート結果..... | 32 |
| 3.3 両評価結果のまとめと考察..... | 34 |
| 第4章 結論..... | 35 |
| 4.1 まとめ..... | 35 |
| 4.2 今後の課題..... | 36 |
| 参考文献..... | 37 |
| 謝辞..... | 40 |

第1章

序論

1.1 研究背景

近年、大雨の年間発生回数は有意に増加しており、線状降水帯などの強度の強い雨は1980年頃と比較して、約2倍に頻度が増加している^[1]。それに伴い、日本の各地で激甚な豪雨災害が毎年のように発生している。過去6年間に限っても平成29年7月豪雨災害（九州北部豪雨災害）^[2]、平成30年7月豪雨災害（西日本豪雨災害）^[3]、令和元年月豪雨災害（佐賀豪雨災害）^[4]、令和元年10月台風19号災害（東日本豪雨）^[5]、令和2年7月豪雨災害^[6]、令和3年8月大雨災害（前線による大雨）^[7]、令和4年8月前線による大雨災害^[8]、令和4年台風15号による大雨災害^[9]、令和5年には福岡県及び大分県で記録的な大雨^[10]などが挙げられる。また水害による被害額は近年、年間数千億円から数兆円にまで上っている^[11]。

これらの豪雨災害により、駐車場、道路及びアンダーパスの冠水が頻発化し、自動車の浸水被害が起きている。浸水被害により甚大な人的被害の一つである「自動車移動の際の被害（車中死）」が数多く起きている。車中死の主な原因は「氾濫流に巻き込まれる場合」や「冠水道路に侵入し、車から抜け出せない場合」が考えられる。前者において、戸田らは都市域での洪水氾濫時に、どの程度の流れの状態で車が流され始めるのか、またどのような漂流速度で流れるのかを明らかにするため、車の模型を用いた水理実験を行った。実験の結果、セダンタイプの車は流速が2m/sを超え、水深が50cmを超えると漂流する危険な状態になることを確認した^[12]。また、押川らは模型実験により自動車に働く流体力の迎角（流向）依存性を評価し洪水時における自動車の危険性について検討している、冠水時の自動車の危険性には流れと車の向きが大きく影響することが分かり、流れを横断するような状況（ $\theta=75\sim90^\circ$ ）の25cm冠水でも3m/s程度の流れがあれば自動車は流されることを確認した^[13,14]。それに伴い、川中らは市街地において水

災害時の被害を検討するために、浸水だけではなく漂流物を考慮した複合的な被害予測のために漂流物シミュレーションモデルを開発した。実験の結果、押川らの模型実験の示す漂流限界判読図や漂流速度は再現できることを確認した^[15]。また実際の事例を用いて遊佐らは、令和元年東日本台風により発生した車中死事例を対象に、車中死発生時の洪水氾濫状況や車両流失条件を解明するために、旗川流域にて河川流・氾濫流シミュレーションを実施した。結果、車中死被害地点にて急激な流速・水深増加を確認した^[16]。後者に関して、馬場らは自動車水没時の避難について実験的に検討している。車はセダンタイプの乗用車を使用している。浸水深の増加に伴って避難に要する時間が急速に増加し、地上面からの浸水深が70~80cm程度になると避難成功率が急激に低下することを確認している^[17]。またJAFによるセダン（トヨタ・マークII）とSUV（日産・エクストレイル）の二つのタイプの試験車両を用いた間水路走行の問題点を検証するテストでは、冠水路水深30cmの状況下においては2種の試験車両共に時速10km、30kmにおいて走行可能であることを示している。しかし冠水路水深が60cmでは、SUVが時速10kmにおいてのみ走行可能であったが、セダンの時速10km、30km、SUVの時速30kmでは走行不可能であることを示している。この結果から、「実際の冠水路では水深も水の中の様子もわからないため、冠水路に遭遇したら安易に進入せず、迂回することを考えた方がよい」と述べている^[18]。また別角度の研究では、豪雨時の道路冠水と交通量に関する研究^[19]、リアルタイムの内水氾濫予測と浸水域を考慮した経路検索機能を組み合わせたリアルタイムの避難経路検索システムに関する研究^[20]、交通情報・気象情報と自動車帰宅行動の関係に関する研究^[21]、迅速な水害調査を行うための、SNS情報の解析による広域的な浸水深と氾濫流速の算定手法の構築の研究^[22]、地下空間での氾濫流の挙動や車の漂流危険域を把握する研究^[23]、水害に適用可能な人的被害推計手法に関する研究^[24]などが行われている。

大雨の状況下での走行では、如何に気象情報や道路情報を正確に速やかに得るかが重要と考える。走行前において、気象情報入手方法としては天気予報や雨雲レーダー等を利用すれば容易に入手可能である。道路情報入手方法としては、各都道府県市町村のホームページにて冠水リスクの高い道路の数分単位での画像が更新され、閲覧することで得られる。走行中においての気象情報入手方法としては、走行環境が直接気象情報であるため問題はない。しかし、走行中に道路情

報を入手するのは容易ではない．対策としては，水深・冠水の注意喚起の路面標示，看板・電光掲示板による冠水注意または通行止めの標識が施されている．しかしこれらの対策のドライバに対する情報伝達能力についての研究があまりされていない．これらの背景から，これからの日本は都市防災に加えて自動車防災についても着目していく必要があると考える．また大雨による冠水道路の走行に関する危険性をドライバへ正確に伝えるかに関する研究は今後さらに重要度が高まり，それらの知見の警告表示システムが期待される．

1.2 研究目的

研究背景で述べた通り，大雨による被害は増加傾向にあり，これからの日本は都市防災に加えて自動車防災についても着目していく必要があると考える．このような自動車防災のために様々な角度から多くの研究がなされている．しかし，冠水道路走行以前の注意喚起に関する情報伝達能力の研究がなされていない．

そこで本研究では，構造的に周りより標高が低く，降雨時に冠水リスクが高く^[25]，侵入速度が大きくなりやすいため被災リスクの高いアンダーパスを対象とした自動車防災に関して研究を行う．新たなアンダーパスの警告表示を提案し，アンダーパス冠水情報の情報伝達能力を向上させる手法の有効性を検討し，アンダーパスにおける自動車防災技術を向上させることを目的とする．

1.3 本論文の構成

本論文の構成を述べる．第1章で研究背景と研究目的について述べた．第2章では，ドライビングシミュレータを用いた実験についての詳細を述べる．第3章では，実験結果と考察について述べる．最後に第4章では，本研究のまとめと今後の展望について述べる．

第 2 章

実験装置及び実験環境

本研究では、アンダーパス警告表示のドライバに対する情報伝達能力向上のため、先ず表示高さと視認性の関係を検証する。視線計測器による表示の視認時間により視認性を評価した。またドライバへの新たな警告表示として冠水深と適正な走行指示を表記した電光掲示板の設置を提案する。実験協力者の運転行動と実験協力者による警告表示に関する主観アンケートにより評価した。そして、実験にはドライビングシミュレータ(以下 DS と記す)を用いて走行実験を行う。本章では今回使用した DS の構成と役割について説明する。また、運転実験の概要と実験条件について説明する。

2.1 走行実験装置概要

2.1.1 DS 概要

実験で用いた DS の構成を Fig.1 に示す。また、DS の外観を Fig. 2 に示す。DS を構成する機材は、PC1 台、PHILIPS 社の BDM4350UC/11 の大きさ 42.5 インチ、解像度 3840×2160 のディスプレイ 1 台、サブディスプレイ 1 台、Thrustmaster 社製の T-300RS のステアリング、アクセル、ブレーキを使用した。ディスプレイ中心とドライバの目の高さで一致させ、ドライバの目からディスプレイまでの距離は 85cm とした。実際の運転席の空間を再現するためディスプレイ、ステアリング、アクセル、ブレーキの一体化させ、配置も考慮して構成した。本実験では、走行環境構築のため株式会社フォーラムエイトのシミュレーションソフト UC-win/Road Ver.17 を使用した。

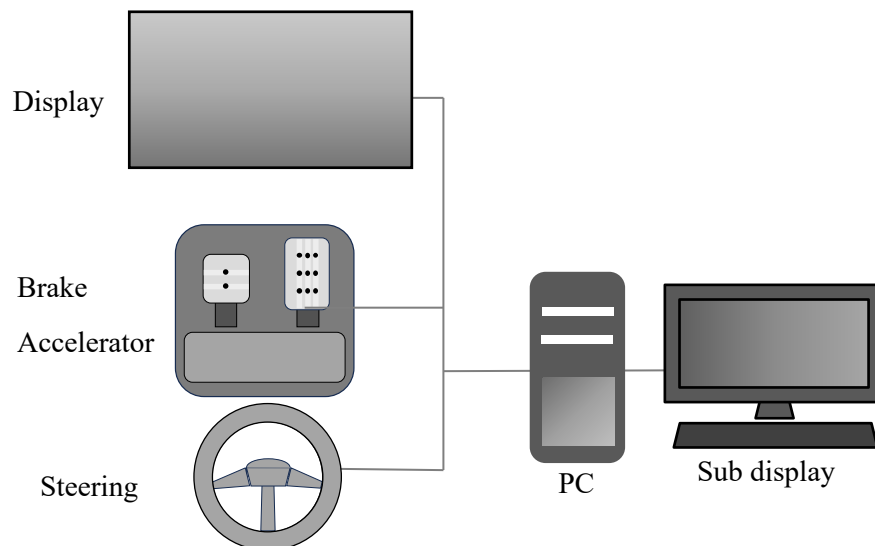


Fig. 1 Configuration of the experimental system



Fig. 2 Experimental equipment appearance of DS

2.1.2 EMR-9 の概要

EMR-9 の外観を Fig. 3 に示す． EMR-9 は，頭部に装着したセンサーにより実験協力者の目の動きを検出し，その視野をカメラによって撮影された映像上にアイマークを表示する視線計測装置である．本研究では帽子タイプを使用した．帽子タイプのヘッドユニットは実験協力者の左右の眼球を撮影するカメラ，実験協力者が見ている風景を撮影する視野カメラから構成されている．この2台のカメラを用いて，視野映像に視線位置を重ねることで見ている位置を記録し，動画データとして出力する．EMR-9 は表示高さによる視認性の検証にのみ使用した．



Fig. 3 Appearance of EMR-9^[26]

2.1.3 走行実験環境

本研究では、環境構築ソフトである UC-win/Road を用いて、走行コースを新たに二つ構築した。コース 1 はアンダーパス部分が高いコース。コース 2 はアンダーパス部分が低いコースとした。コース 1 を Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9, Fig.10 に示す。コース 2 を Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14, Fig. 15, Fig.1 6, Fig. 17 に示す。また天候は大雨とした。走行車両は SUV 車両を用いた。走行車両を Fig. 18 を示す。



Fig. 4 Course1. Starting point

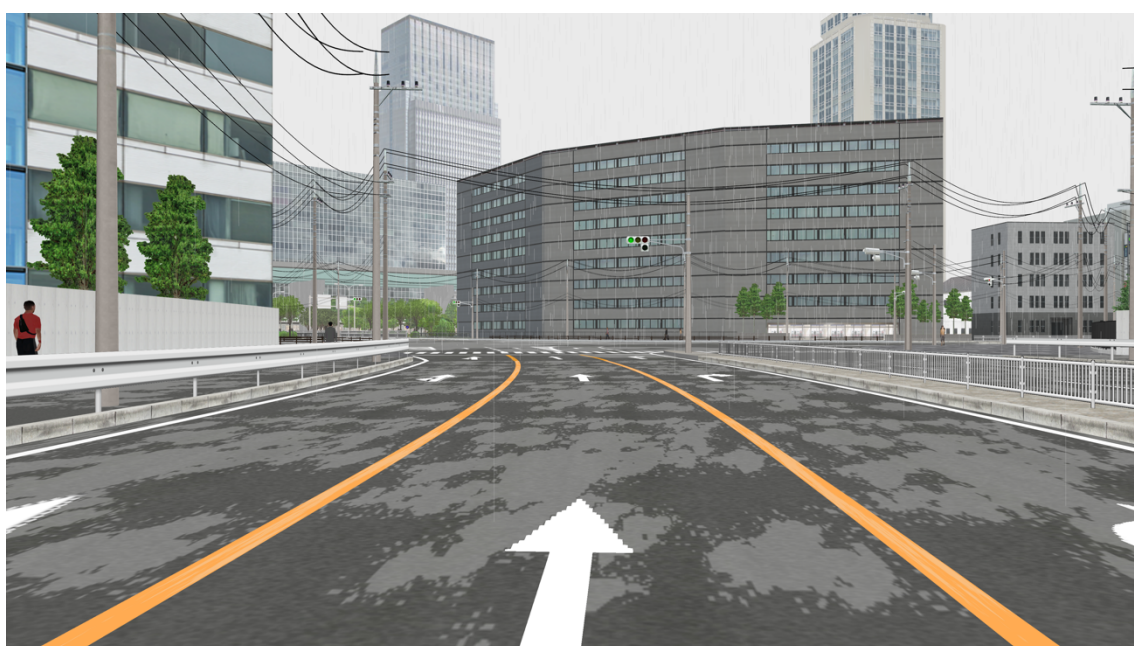


Fig. 5 Course1. Near the intersection



Fig. 6 Course1. Intersection

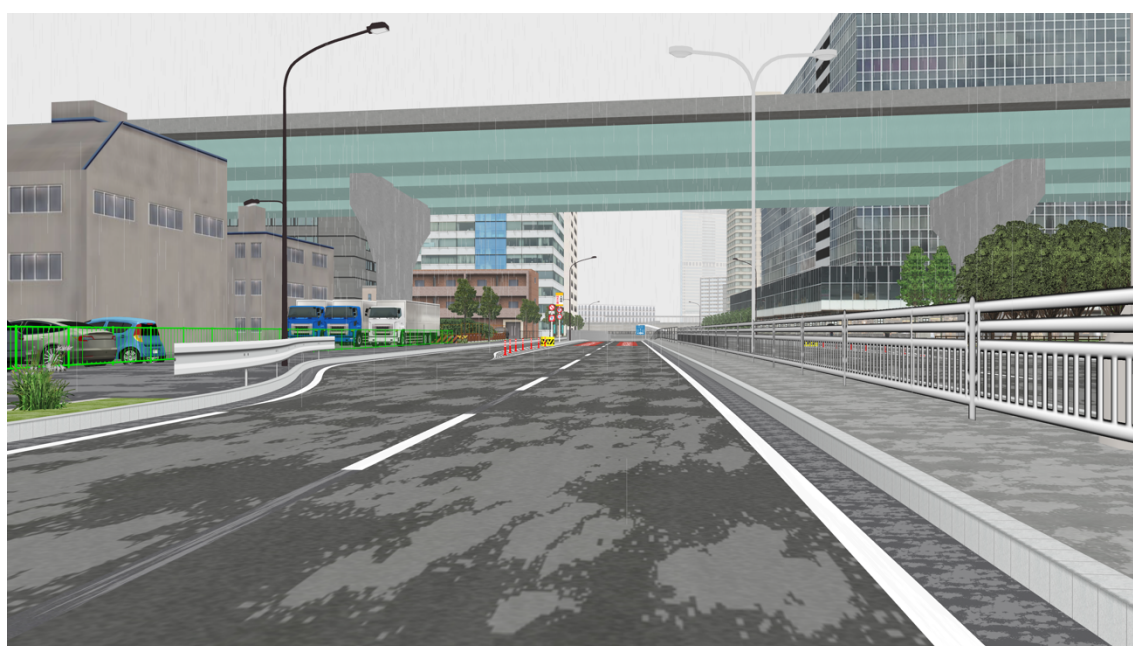


Fig. 7 Course1. Near the underpass



Fig. 8 Course1. Entrance to the underpass





Fig. 10 Course1. Deepest part of the underpass



Fig. 11 Course2. Starting point



Fig. 12 Course2. Near the intersection

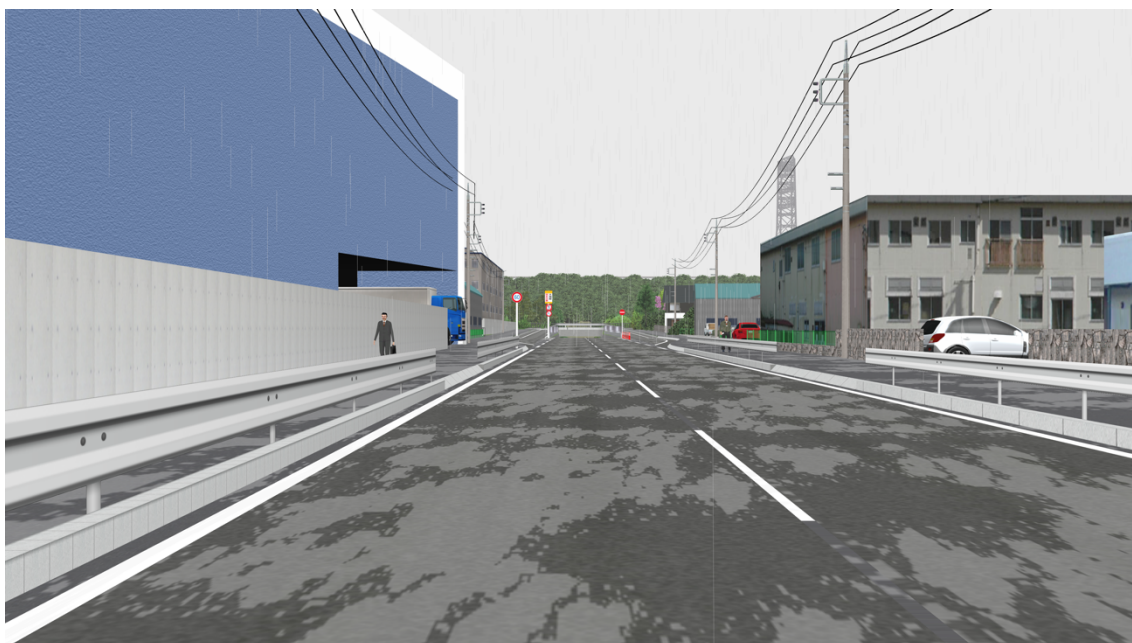


Fig. 13 Course2. Road to the underpass



Fig. 14 Course2. Near the underpass



Fig. 15 Course2. Entrance to the underpass



Fig. 16 Course2. Inside the underpass

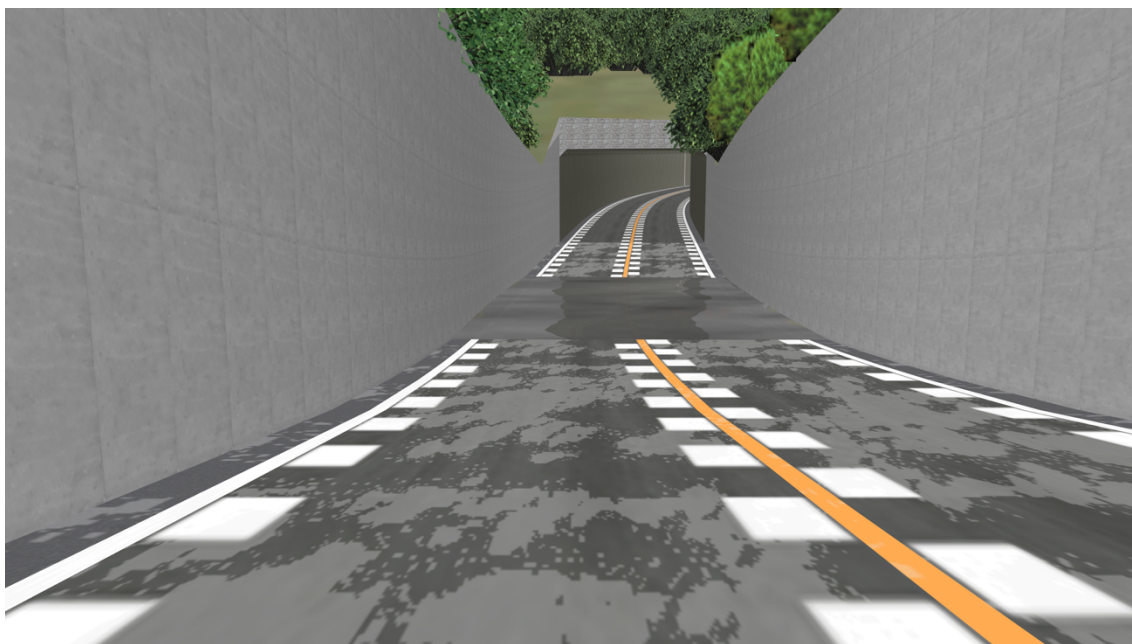


Fig. 17 Course2. Deepest part of the underpass



Fig. 18 Experimental car

2.2 実験内容

2.2.1 表示高さによる視認性の検証

目線の高さを基準とした三種の表示高さの視認性を比較、検討した。視線計測器 EMR-9 による表示の視認時間により視認性を評価した。実験協力者は A と B の二名である。想定した走行環境は大雨であり、走行ルートはコース 1 とした。速度制限は 60km/h とした。表示高さは目線の高さ（地上 1.47m）、目線の高さ+2m、目線の高さ-1m の三種用意した。表示高さの様子を Fig. 19, Fig. 20, Fig. 21 に示す。表示パターンは異なる数字三種の組み合わせを 3 パターン用意し、三種の表示高さは常に横一列である。数字三種の組み合わせと配置について Table1 に示す。表示位置は手前からアンダーパス入口、アンダーパス途中の中央分離帯、アンダーパス最深部の頭上にある橋にそれぞれ配置した。1 セットの実験での走行回数は表示高さ 3 種と表示パターン 3 種での計 9 回とし、ランダムで走行してもらった。実験は各 5 セット行った。実験協力者には走行中にアンダーパスに配置されている表示に映し出された三つの数を足し、計算終了時点でボタンを押してもらう。視線と表示が重なった時点を視認開始とし、表示を視認してからボタンを押すまでの時間を視認時間とした。EMR-9 の CSV ファイルより視線データを取得し、視認時間のデータを得た。そのデータを基に表示高さそれぞれの視認時間を比較、検討を行った。

2.2.2 警告表示の情報伝達能力の検証

アンダーパス冠水時の警告表示の危険伝達能力の評価として、四種の警告表示パターン、三種の冠水深と二種の走行コースによる計 24 種類の走行パターンを走行し、運転行動とアンケートを用いて行った。実験協力者は C, D, E, F の四名で行った。走行コースは冠水状況がわかりやすい距離の長いアンダーパスと冠水状況がわかりにくい距離の短いアンダーパスの二コース用意した。表示パターンは次に示す四種で実施した。(1) 大雨時注意表記の看板、冠水時注意の路面標示のパターン 1, (2) (1)と冠水注意、通行止め表記の電光掲示板のパターン 2, (3) (1)と冠水深を示す路面標示のパターン 3, (4) (1)と情報伝達能力向上を狙い、新たな提案表示として冠水深と適正な運転行動を示す電光掲示板のパターン 4。各表示パターンの配置について、パターン 1 はアンダーパス入口、パターン 2 と 4 はアンダーパス入口とアンダーパス入口から 100m 先の二箇所、パターン 3 は冠水地点に配置した。すべての表示内容は Fig. 22, Fig. 23, Fig. 24,

Fig. 25, Fig. 26 に示す．冠水深は，安全水位 3cm，警戒水位 20cm，危険水位 50cm の三種用意した．二種の走行コースに対する冠水深を 3cm，20cm，50cm の順に Fig. 27, Fig. 28 に示す．また，表示パターンと冠水深の組み合わせを Table2 に示す．一回の実験，計 24 パターンで実験協力者 C, D, E, F は 1 回ずつ実験を行った．24 パターンはランダムで走行してもらった．また，複数の表示と冠水状況を項目とした主観アンケートを用意し，さらに一走行毎に走行の判断材料となった情報を一つ選択してもらった．アンケートは Fig. 29 に示す．

本研究では UC-win/Road のログ出力を用いて任意の走行地点と走行速度のデータを取得した．走行に関するデータとそれを基にした表示方法に対する危険走行回数の実験データを示す．またアンケートによる表示の選択結果を示す．



Fig. 19 Height of eye level



Fig. 20 Height of eye level +2m

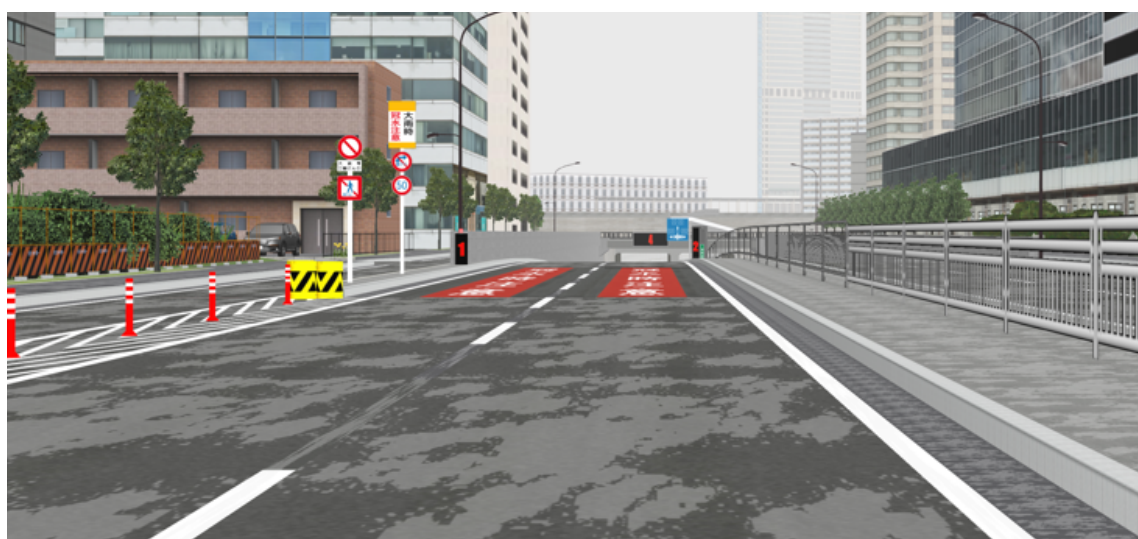


Fig. 21 Height of eye level -1m

Table1 Combination and arrangement of three types of numbers










| | Underpass entrance | Underpass median strip | Overhead at the underpass's deepest |
|----------------------|---|---|---|
| Number combination 1 |  |  |  |
| Number combination 2 |  |  |  |
| Number combination 3 |  |  |  |



Fig. 22 Sign warning of flooding



Fig. 23 Road markings warning of flooding



Fig. 24 Electronic message board

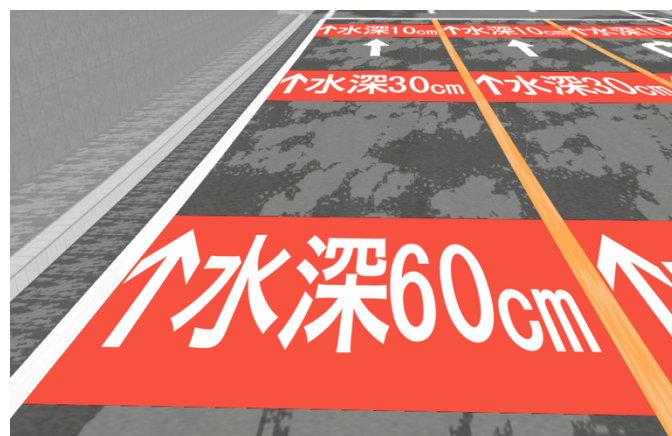


Fig. 25 Road markings indicating flood depth

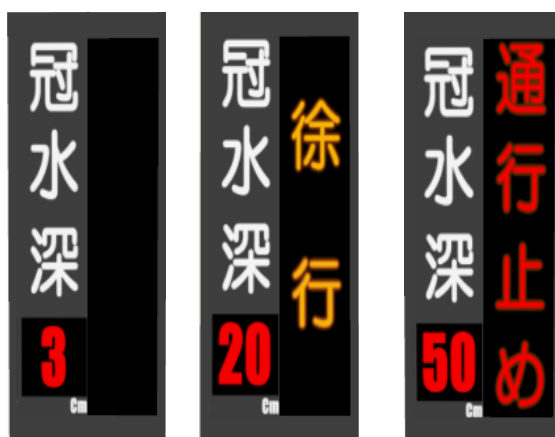
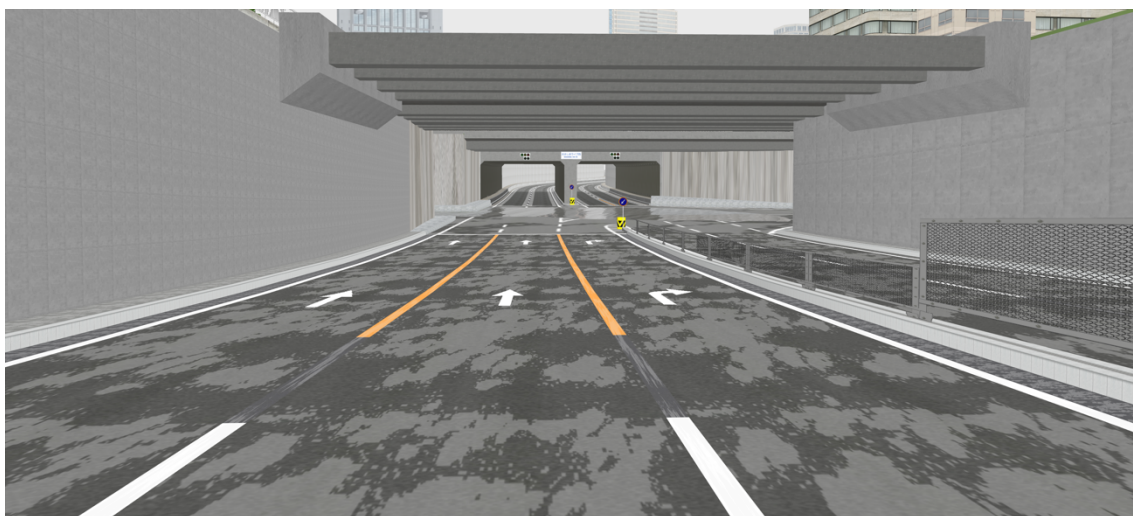


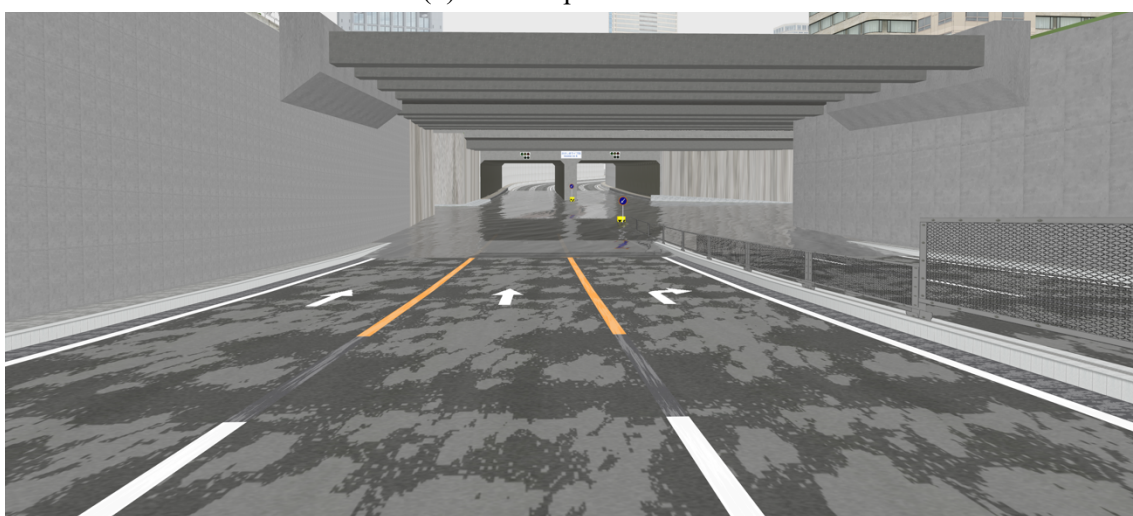
Fig. 26 Suggestion display



(a) 3cm depth of water



(b) 20cm depth of water



(c) 50cm depth of water

Fig. 27 Depth of water for course 1



(a) 3cm depth of water















(b) 20cm depth of water



(c) 50cm depth of water

Fig. 28 Depth of water for course 2

Table2 Display pattern and flood depth

| | Flood depth 3cm | Flood depth 20cm | Flood depth 50cm |
|------------------|---|--|---|
| Display pattern1 |  |  |  |
| Display Pattern2 | Pattern 1 +  | Pattern 1 +  | Pattern 1 +  |
| Display Pattern3 | Pattern 1 +  | Pattern 1 +  | Pattern 1 +  |
| Display Pattern4 | Pattern 1 +  | Pattern 1 +  | Pattern 1 +  |

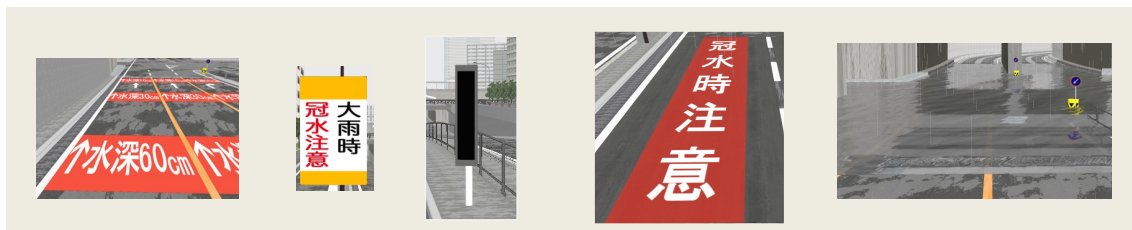


Fig. 29 Questionnaire item

第3章

実験結果及び考察

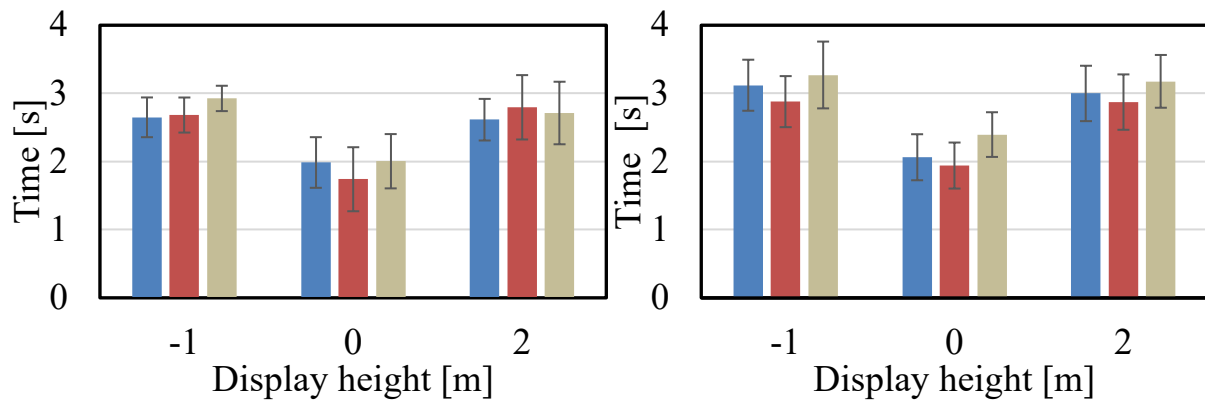
本章では各表示高さの視認時間を比較した結果 3.1 節にて説明する。また走行地点と走行速度のデータ, それを基にした各警告表示に対する危険走行回数の結果と主観アンケートによる警告表示の情報伝達能力評価結果を 3.2 節にて説明する。3.3 節では実験結果のまとめと考察を説明する。

3.1 表示高さによる視認性の検証結果

本研究の実験協力者 A, B の三種の数字の組み合わせと表示高さに対する視認時間の平均値と標準偏差を Fig. 30 に示す。縦軸は視認時間, 横軸は各表示高さの数字の組み合わせを表している。青色は数字の組み合わせパターン 1, 赤色は数字の組み合わせパターン 2, 黄土色は数字の組み合わせパターン 3 を表している。また, 各表示高さに対する視認時間の平均値, 標準偏差と有意差を Fig. 31 に示す。縦軸は視認時間, 横軸は各表示高さを表している。

実験の結果, 表示高さを目線の高さに配置した時に最も視認時間が短くなり, 他の表示高さとの有意差が確認でき, 視認性が向上することを示せた。

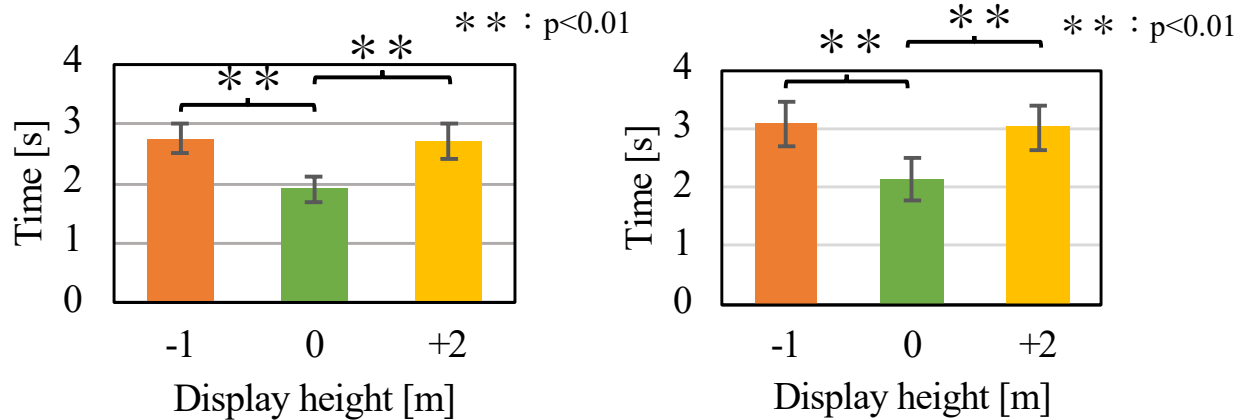
■ Number combination 1 ■ Number combination 2 ■ Number combination 3



(a) Experimental results of a participant A

(b) Experimental results of a participant B

Fig. 30 Experimental results of visibility time versus number combination and display height



(a) Experimental results of a participant A

(b) Experimental results of a participant B

Fig. 31 Experimental results of visibility time versus display height

3.2 警告表示の情報伝達能力の検証結果

3.2.1 走行データ評価結果

本研究での実験協力者 C, D, E, F の走行データをコース 1 の冠水深 3cm, コース 2 の冠水深 3cm, コース 1 の冠水深 20cm, コース 2 の冠水深 20cm, コース 1 の冠水深 50cm, コース 2 の冠水深 50cm の順で Fig. 32, Fig. 33, Fig. 34, Fig. 35, Fig. 36, Fig. 37 に示す (左上: C, 右上: D, 左下: F, 右下: E). 縦軸は走行車両の速度, 横軸は走行距離を表している. 青色は大雨時冠水注意表記の看板と冠水時注意の路面標示の表示パターン 1, 赤色は表示パターン 1 に加えて冠水注意と通行止め表記が可能な電光掲示板の表示パターン 2, 紫色は表示パターン 1 に加えて冠水深表記の路面標示の表示パターン 3, 橙色は表示パターン 1 に加えて提案表示の表示パターン 4 を示す. グラフには冠水エリアと限界安全走行速度を記す. また実験協力者 C, D, E, F の全走行においてコース 1 とコース 2 の危険走行回数 Fig. 38 に示す.

実験の結果大雨時注意表記の看板と冠水時注意の路面標示を配置した場合, 二種のコース合わせて危険な走行が 9 回行われた. 冠水注意と通行止め表記が可能な電光掲示板を配置し, 冠水深 20cm の場合, 冠水状況の分かりやすい距離の長いアンダーパスにおいては危険な走行は見られたが, 停止する走行が 3 回行われた. 一方で冠水状況の分かりにくい距離の短いアンダーパスにおいて, 危険な走行が 2 回増え, すべての車が冠水道路を通過した. また冠水深 50cm の場合, 二つのアンダーパス共にすべての走行で停止をし, 通行止め表記は情報伝達能力が高いことを確認した. 冠水深を示す路面標示を配置した場合, 冠水深 20cm と 50cm 共に冠水状況の分かりやすい距離の長いアンダーパスより冠水状況の分かりにくい距離の短いアンダーパスにおいて危険な走行が増えることが確認され, 冠水深 20cm の場合 1 回, 冠水深 50cm の場合 3 回危険な走行が増えた. 提案表示を配置した場合, 全走行において危険な走行は見られなかった.

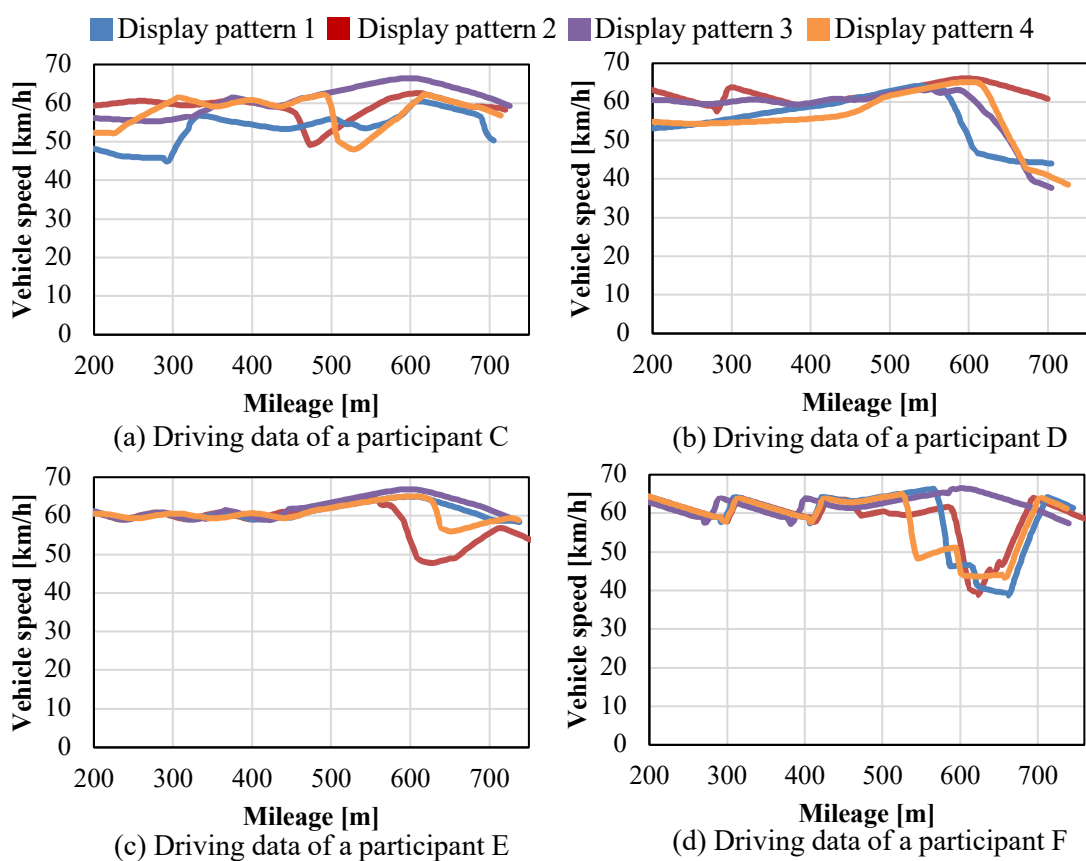


Fig. 32 Experimental results of course 1 and flood depth 3cm

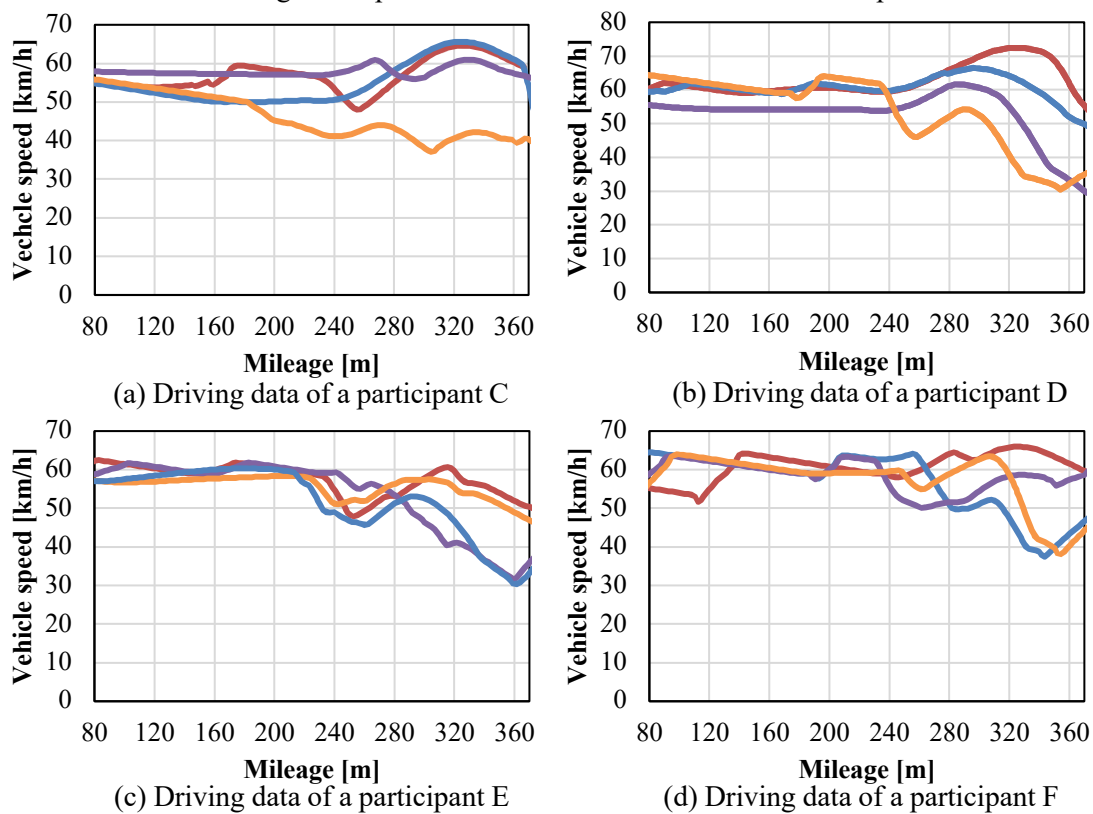


Fig. 33 Experimental results of course 2 and flood depth 3cm

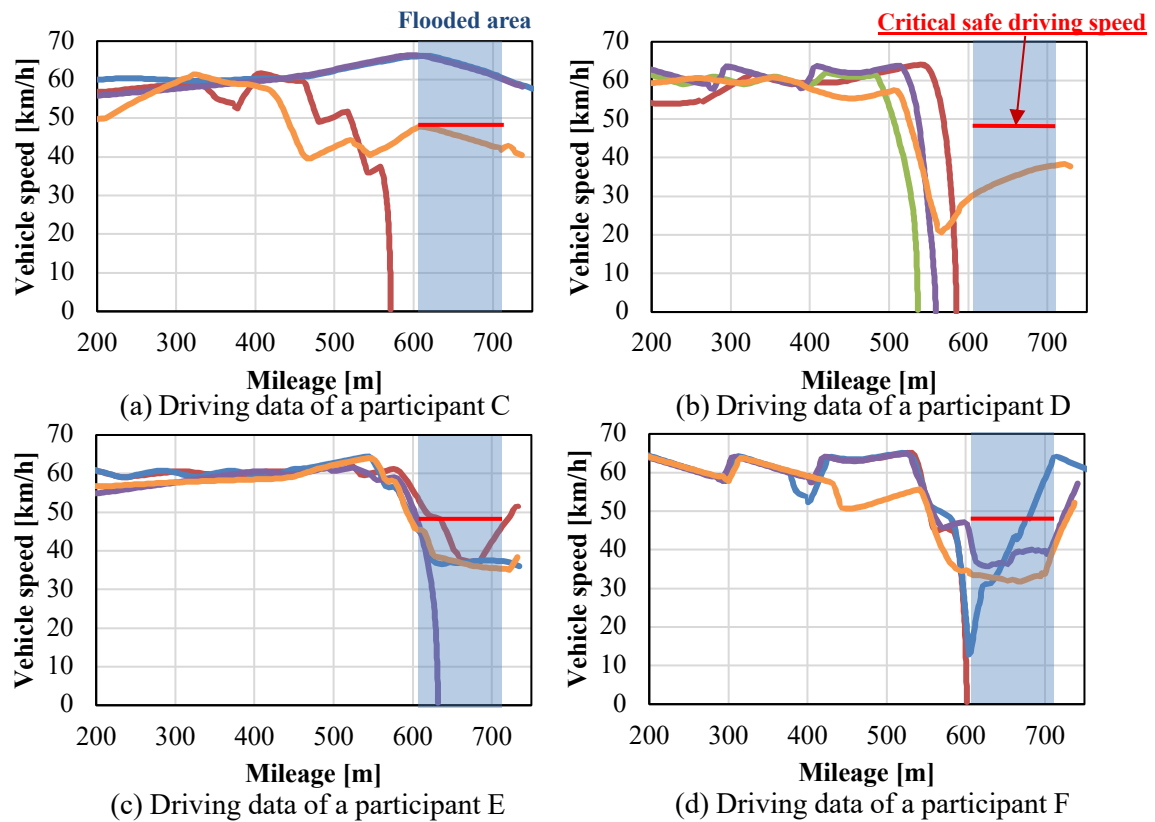


Fig. 34 Experimental results of course 1 and flood depth 20cm

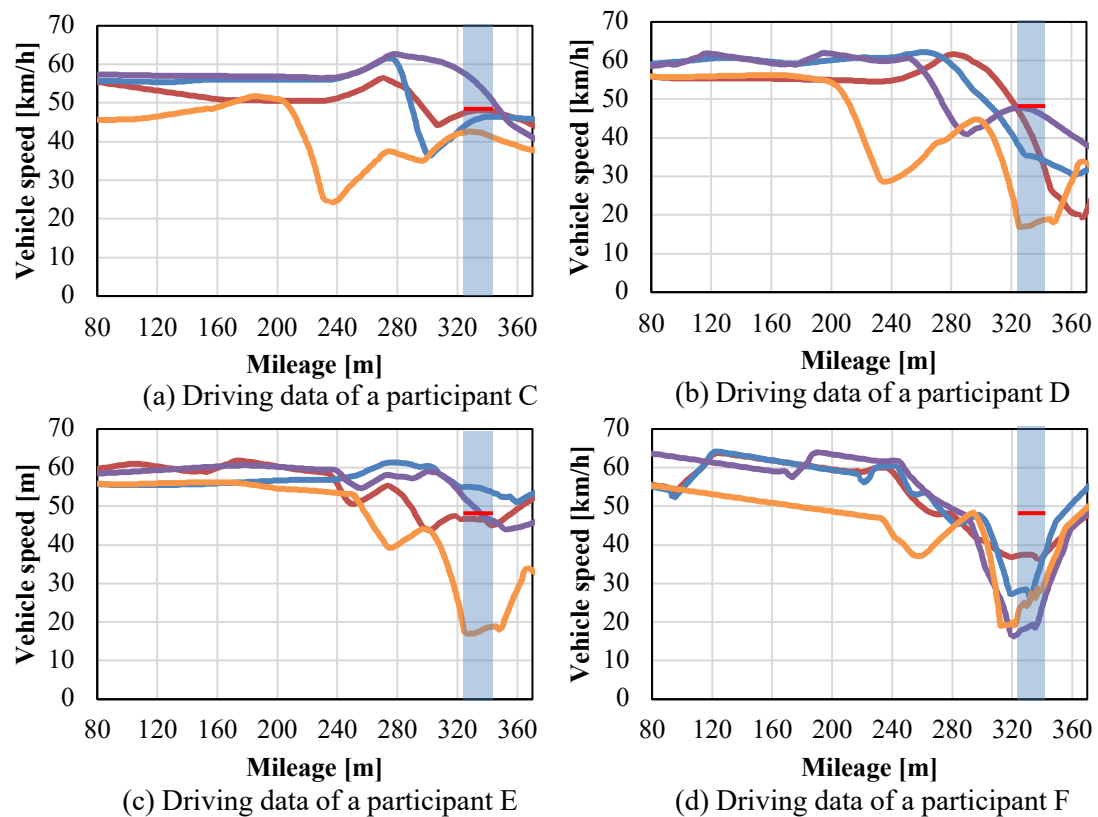


Fig. 35 Experimental results of course 2 and flood depth 20cm

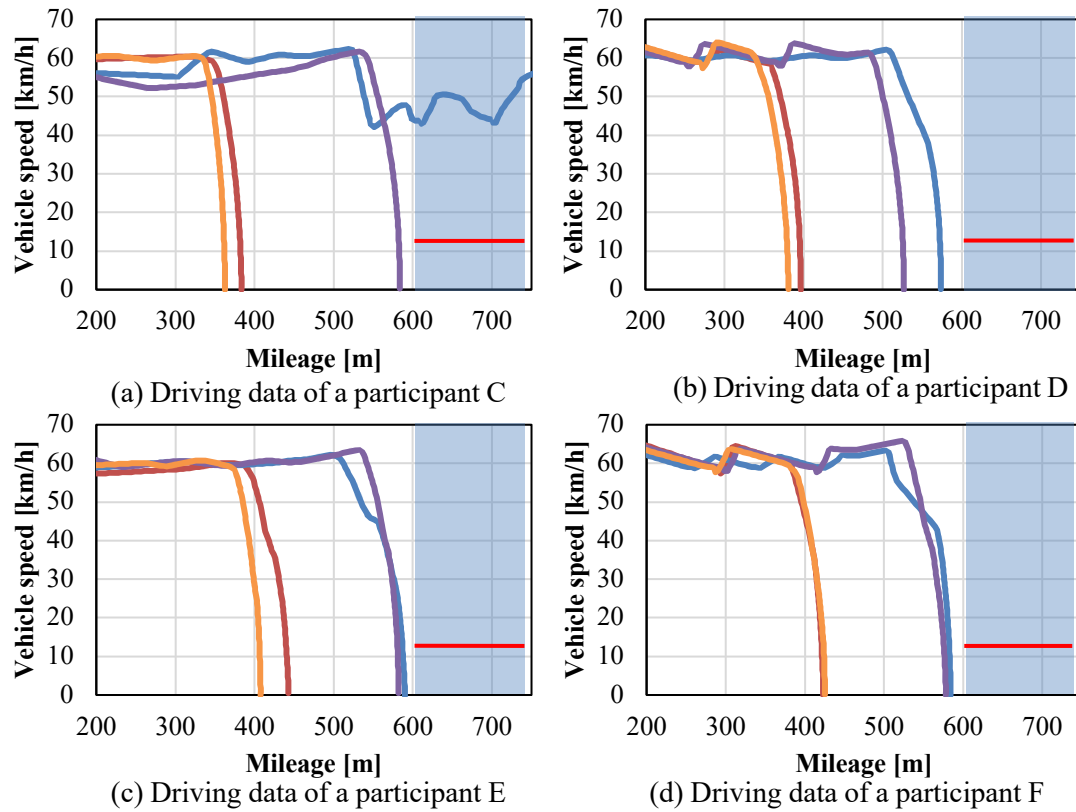


Fig. 36 Experimental results of course 1 and flood depth 50cm

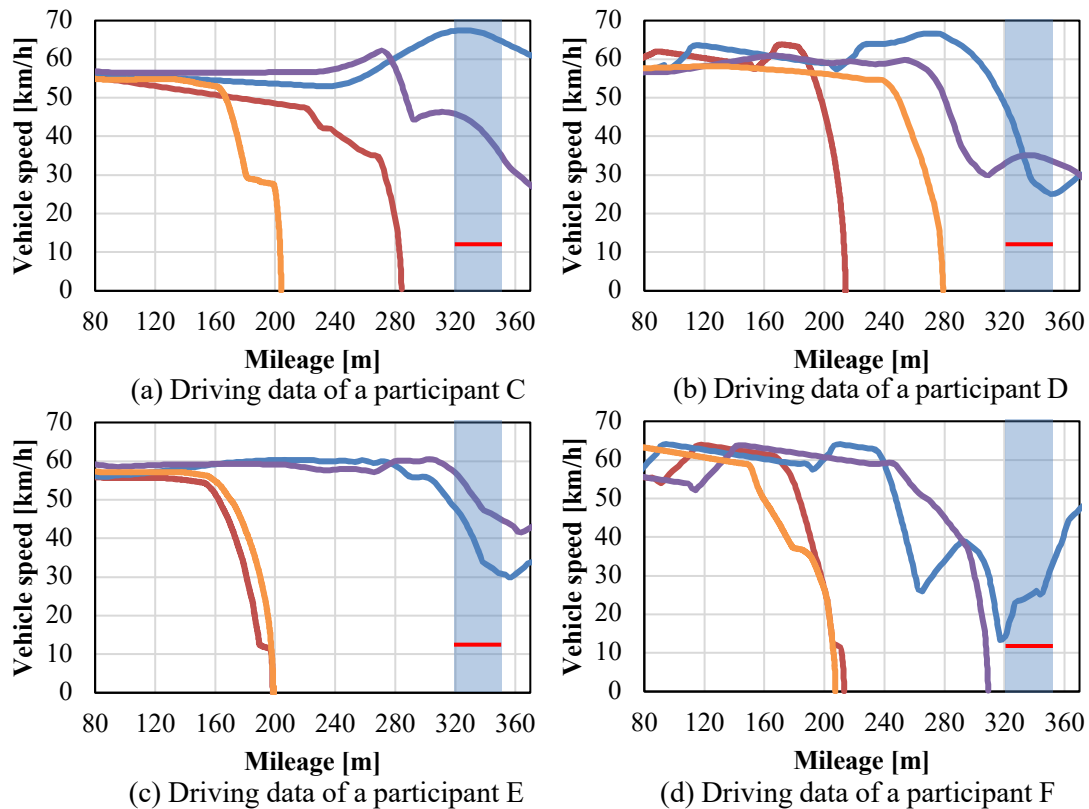
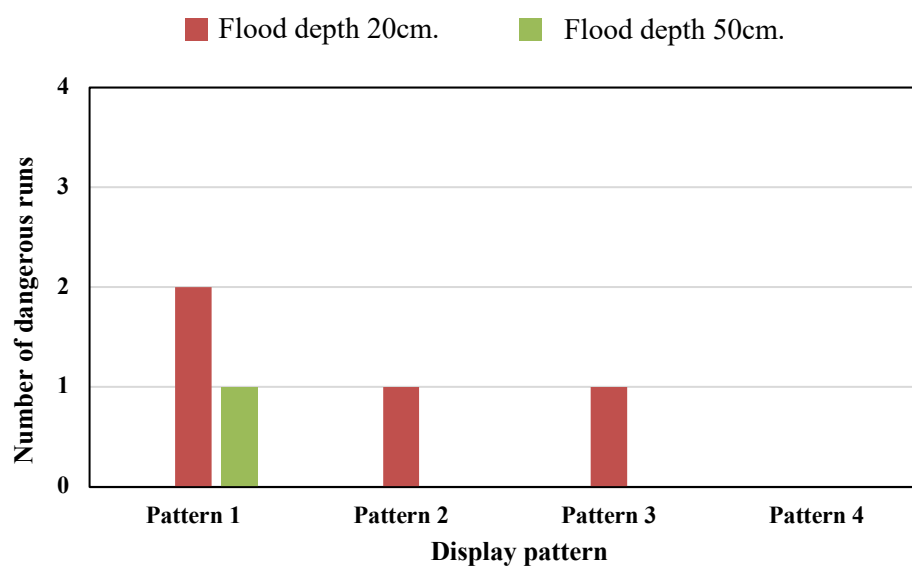
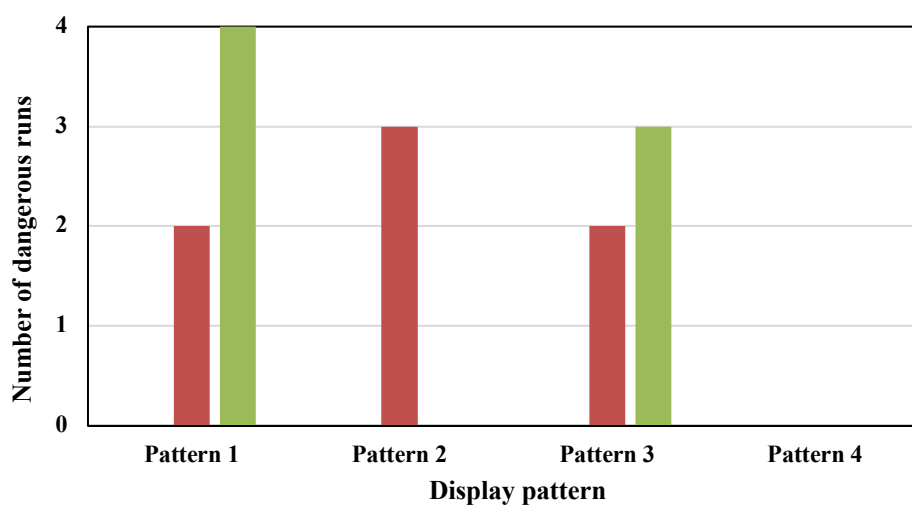


Fig. 37 Experimental results of course 2 and flood depth 50cm



(a) Results of course 1



(b) Results of course 2

Fig. 38 Number of dangerous runs

3.2.2 主観アンケート結果

複数の警告表示と冠水状況を項目とした主観アンケートを用意し、さらに一走行毎に走行の判断材料となった情報を一つ選択してもらった。アンケート結果を大雨時冠水注意表記の看板と冠水時注意の路面標示の表示パターン1、表示パターン1に加えて冠水注意と通行止め表記が可能な電光掲示板の表示パターン2、表示パターン1に加えて冠水深表記の路面標示の表示パターン3、表示パターン1に加えて提案表示の表示パターン4の順に選択数について Table3, Table4, Table5, Table6 に示す。

実験の結果、Table4 と Table6 から実験協力者全員が二種のコース共に表示パターン2の冠水深50cmと表示パターン4の冠水深20cmと50cmの条件で通行止め表記の電光掲示板と提案表示を走行判断の情報として選択した。つまり、通行止め表記の電光掲示板と冠水深20cmと50cmの場合の提案表示はドライバに対して、判断する情報として特に重要であることを示せた。また、Table5 から冠水深の路面標示を配置しているのにも関わらず、冠水深の路面標示ではなく実際の冠水を見て判断する走行が行われた。つまり、冠水深の路面標示はドライバに対して参考にならない場合が確認された。また、全走行において大雨時注意表記の看板は走行の判断の情報として一度選択され、冠水時注意の路面標示に限っては一度も走行の判断の情報として選択されなかった。つまり、大雨時注意表記の看板と冠水時注意の路面標示はドライバの走行判断の情報としては限りなく意味を成さないことを確認した。

Table3 Questionnaire results for display pattern 1 and flooding

| | Course 1 | | | Course 2 | | |
|-----------------------------------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|
| | 3 cm | 20 cm | 50 cm | 0 cm | 20 cm | 50 cm |
| Sign warning of flooding | | | | | | |
| Road markings warning of flooding | | | | | | |
| Flooding | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

Table4 Questionnaire results for display pattern 2 and flooding

| | 3 cm | 20 cm | 50 cm | 0 cm | 20 cm | 50 cm |
|-----------------------------------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| Sign warning of flooding | | | | | | |
| Road markings warning of flooding | | | | | | |
| Electronic message board | | 1 | 4 | | 2 | 4 |
| Flooding | 4 | 3 | | 4 | 2 | |

Table5 Questionnaire results for display pattern 3 and flooding

| | 3 cm | 20 cm | 50 cm | 0 cm | 20 cm | 50 cm |
|--------------------------------------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| Sign warning of flooding | | | | 1 | | |
| Road markings warning of flooding | | | | | | |
| Road markings indicating flood depth | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| Flooding | | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 |

Table6 Questionnaire results for display pattern 4 and flooding

| | 3 cm | 20 cm | 50 cm | 0 cm | 20 cm | 50 cm |
|-----------------------------------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| Sign warning of flooding | | | | | | |
| Road markings warning of flooding | | | | | | |
| Suggestion display | 3 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 |
| Flooding | 1 | | | 2 | | |

3.3 両評価結果のまとめと考察

表示高さの視認性評価結果より、警告表示の高さは目線の高さに配置することで視認性が向上することが確認された。また、既存の警告看板、電光掲示板、路面標示と提案表示の環境下での走行及び主観アンケート評価結果より、通行止め表記の電光掲示板と提案表示はドライバに対して、判断する情報として特に重要であり、通行止め表記の電光掲示板と提案表示を配置した場合では危険な走行は確認されなかった。また、冠水深の路面標示はドライバに対して走行の判断材料にならない場合が確認され、走行の判断材料とした場合に危険な走行も確認された。大雨時注意表記の看板と冠水時注意の路面標示はドライバの走行判断の情報としては意味を成さないことを確認し、危険な走行が多く行われた。

この結果から、アンダーパス冠水時には警告看板、冠水注意表記の電光掲示板や冠水深表記の路面標示だけでは、危険な走行を防ぐことは難しいことを示した。しかし、通行止め表記の電光掲示板と提案表示では危険な走行を防ぐことができることを示した。つまり、提案表示は既存の警告表示に比べてアンダーパス冠水時の情報伝達能力を向上させる表示であることを示した。

第4章

結論

4.1 まとめ

本研究では、構造的に周りより標高が低く、降雨時に冠水リスクが高く、侵入速度が大きくなりやすいため被災リスクの高いアンダーパスを対象とした自動車防災に関して研究を行った。新たなアンダーパスの警告表示を提案し、アンダーパス冠水情報の情報伝達能力を向上させる手法の有効性を検討し、アンダーパスにおける自動車防災技術を向上させることを目的とした。

本研究では、アンダーパス警告表示のドライバに対する情報伝達能力向上のため、表示高さと視認性の関係を検証した。視線計測器による表示の視認時間により視認性を評価した。結果、目線の高さで視認性が高まることを確認した。またドライバへの新たな警告表示として冠水深と適正な走行指示を表記した電光掲示板の設置を提案した。本実験はドライビングシミュレータを用いて検証を行った。走行コースは冠水状況が分かりにくい距離の短いアンダーパスと、冠水状況が分かりやすい距離の長いアンダーパスの二種類用意した。表示は大雨時冠水注意表記の看板と冠水時注意の路面標示の組み合わせ、冠水注意と通行止めの表記可能な電光掲示板、冠水深を表す路面標示、提案表示の四種類を用意した。但し、大雨時冠水注意表記の看板と冠水時注意の路面標示は常に表示されている状態とした。冠水深は、安全水位 3cm、警戒水位 20cm、危険水位 50cm の三種類用意した。走行パターンはコース二種と表示四種と冠水深三種の計 24 パターンとし、実験協力者にランダムに走行してもらった。また、複数の表示と冠水状況を項目とした主観アンケートを用意し、さらに一走行毎に走行の判断材料となった情報を一つ選択してもらった。実験の結果、提案表示以外を配置した場合では、冠水深 20cm と 50cm において長いアンダーパスと短いアンダーパス共に危険な走行を行う場合があった。しかし、提案表示を配置した場合、冠水深に対する安全な速度で走行または停止しており危険走行は行われなかった。このように、提案表示を

用いることでドライバへの情報伝達能力が向上することが確認され、提案手法の有効性が示された。

4.2 今後の課題

本稿では降雨時のアンダーパス冠水に対する新たな警告表示を提案し、その警告表示を用いて走行実験において警告表示の情報伝達能力評価を実施し、提案表示有効性の検証を行ったが、実験協力者が四名であるため、今後は実験協力者を増やし、さらなる有効性検証が必要である。また、新たな警告表示の考案や警告表示の設置する場所、数、組み合わせなど検討を行う必要がある。加えて、道路交通状況を考慮した警告表示の視認性についても検討が必要と考えている。

参考文献

- [1] 気象庁：大雨や猛暑日など（極限現象）これまでの変化，
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p, (参照日 2024/1/31).
- [2] 気象庁：「災害時気象報告 平成 29 年 7 月九州北部豪雨及び 6 月 7 日から 7 月 27 日までの梅雨前線等による大雨等」，災害時自然現象報告書，
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_2017/saigaiji_201801.pdf, (参照日 2024/1/31).
- [3] 気象庁：「災害をもたらした気象事例平成 30 年 7 月 13 日 平成 30 年 7 月豪雨（前線及び台風 7 号による大雨等）」，
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180713/jyun_sokuji20180628-0708.pdf, (参照日 2024/1/31).
- [4] 気象庁：「災害をもたらした気象事例令和元年 9 月 3 日 前線による大雨」，
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20190826/jyun_sokuji20190826-0829.pdf, (参照日 2024/1/31)
- [5] 気象庁：「災害をもたらした気象事例令和元年 10 月 15 日 台風第 19 号による大雨,暴風等」，
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/jyun_sokuji20191010-1013.pdf, (参照日 2024/1/31).
- [6] 気象庁：「災害をもたらした気象事例令和 2 年 8 月 11 日 令和 2 年 7 月豪雨」，
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2020/20200811/jyun_sokuji20200703-0731.pdf, (参照日 2024/1/31).
- [7] 気象庁：「災害をもたらした気象事例令和 3 年 8 月 31 日 前線による大雨」，
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2021/20210831/jyun_sokuji20210811-0819.pdf, (参照日 2024/1/31).
- [8] 気象庁：「災害をもたらした気象事例令和 3 年 8 月 22 日 8 月 1 日から 6 日の前線による大雨」，
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2022/20220822/jyun_sokuji20220801-0806.pdf, (参照日 2024/1/31).
- [9] 気象庁：「災害をもたらした気象事例令和 4 年 11 月 2 日 令和 4 年台風第 15 号による大雨」，

- https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2022/20221102/jyun_sokuji20220922-0924.pdf, (参照日 2024/1/31).
- [10] 気象庁：「災害をもたらした気象事例令和5年8月8日 梅雨前線による大雨」,
https://www.data.jma.go.jp/stats/data/bosai/report/2023/20230808/jyun_sokuji20230628-0716.pdf, (参照日 2024/1/31).
- [11] 国土交通省：「報道発表資料 令和4年8月31日」,
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001499495.pdf>, (参照日 2024/1/31).
- [12] 戸田圭一, 石垣泰輔, 尾崎平, 西田知洋, 高垣裕彦：「氾濫時の車の漂流に関する水理実験」, 河川技術論文集, Vol.18, pp.499-504, (2012).
- [13] 押川英夫, 大島崇史, 小松利光：「冠水時の自動車通行の危険性に関する研究」, 河川技術論文集, Vol.17, pp.461-466, (2011).
- [14] 押川英夫, 大島崇史, 橋本彰博, 大串浩一郎, 小松利光：「流行を考慮した洪水氾濫時の自動車通行の危険性に関する研究」, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, pp.1519-1524, (2018).
- [15] 川中龍児, 米山望, 石垣泰輔：「水災害時の車両漂流シミュレーションに関する研究」, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.72, No.2, pp.557-564, (2016).
- [16] 遊佐望海, 檜澤菜々子, 太田皓陽, 伊藤毅彦, 尾形勇紀, 小野村史穂, 二瓶泰雄：「平面二次元氾濫解析に基づく車中死発生時の洪水氾濫・車両流失状況の検討」, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.77, No.2, pp.1441-1446, (2021).
- [17] 馬場康之, 石垣泰輔, 戸田圭一, 中川一：「水没した自動車からの避難に関する実験的研究」, 水工学論文集, Vol.53, pp.853-858, (2009).
- [18] JAF：冠水路走行テスト, <https://jaf.or.jp/common/safety-drive/car-learning/user-test/submerge/waterway-driving>, (参照日 2024/1/31).
- [19] 関根正人, 斎藤涼太：「交通渋滞が道路冠水に及ぼす影響に関わる数値計算による検討」, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, pp.1309-1314, (2018).
- [20] 井上卓也, 中谷剛, 矢部浩規：「リアルタイムの浸水予測を考慮した経路検索の試み」, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, pp.1291-1296, (2018).
- [21] 坂本淳, 藤田素弘, 鈴木弘司, 山本幸司：「集中豪雨下における自動車帰宅交通行動と情報提供に関する研究」, 土木計画学研究・論文集, Vol.24, No.4, pp.861-868, (2007).
- [22] 鶴崎賢一, 大橋直也：「SNS 情報の解析による広域的な浸水深と氾濫流速の算定手法の構築」, 河川技術論文集, Vol.27, pp.551-556, (2021).
- [23] 岡本隆明, 本庄佑馬, 戸田圭一, 石垣泰輔：「地下駐車場浸水時の氾濫流の挙動と車の漂流被害に関する実験的研究」, 土木学会論文集 F2(地下空間研究), Vol.75,

No.1, pp17-25, (2019).

- [24] 塚田文也, 池内幸司:「近年の日本の水害による死者の発生状況の分析と人的被害推計手法の構築」, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.77, No.2, pp1381-1386, (2021).
- [25] 関根正人, 児玉香織:「東京 23 区を対象とした豪雨時浸水リスク評価とアンダーパスの冠水事前予測」, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, pp.1543-1548, (2018).
- [26] 株式会社ナックイメージテクノロジー, EMR-9 取扱説明書, p.109,
https://www.eyemark.jp/_userdata/pdf/EMR-9_manual.pdf, (参照日 2024/1/31).

謝辞

本研究を進めるにあたり、三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 池浦良淳教授には研究に関する有益なご助言を頂き、深く感謝致します。厚く御礼申し上げます。

また、大変お忙しい中、本論文を査読して頂くと共に、多数のご教示、ご助言を賜りました三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 小竹茂夫教授に厚く御礼申し上げます。

また、三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 早川聡一郎准教授には終始多大なる御指導、御鞭撻を親身になって行って頂き、深く感謝致し、厚く御礼申し上げます。

そして、実験装置の製作にあたり、親身な御協力、御尽力、アドバイスをくださった吉田俊一技官に厚く御礼申し上げます。

また、同じ自動車関係の研究を行った同期である後藤倫太郎氏、棚瀬直浩氏、谷口泰誠氏、菱川直輝氏には本研究を行う上で様々な提案、意見交流をし、共に良い刺激となつて研究を行うことができました。厚く御礼申し上げます。

また、研究室での生活を楽しく豊かにして頂いた、修士 1 年生と 4 年生の皆様に感謝し、今後のご活躍を期待しております。

そして、研究室生活を忘れる事の出来ない充実したものにして頂いた内田雄大氏、鈴木理央氏、谷口泰誠氏、三岩功季氏、森井省吾には心より感謝の意を表します。

最後に、大学院在籍中、惜しめない援助を送ってくださった家族のお陰で充実した素晴らしい勉強・研究生活を送ることができました。感謝の気持ちを述べることで謝辞の最後とさせていただきます。