

経路上設置情報を用いて夜間避難時の迷いを低減する 情報投影システムの提案

大塚彩秀菜^{†1} 塚田晃司^{†2}

概要：近年、南海トラフ地震などの大型地震の発生が懸念される中で、熊本地震や大阪府北部地震など様々な地震が発生し、多くの被災者が出た。本研究は、災害時の夜間避難、特に地震発生時の土地勘のない場所での夜間避難に注目する。このような状況で、投影装置を用いて懐中電灯のように足元を照らしつつ、同時に投光範囲に避難情報を投影し避難者に避難情報を提供することで、避難を安全かつ迅速に行うための手法を提案する。さらに、本研究では GPS による位置測位に加え、避難経路上に設置された位置情報を取得することで、従来よりも避難情報の提供を早め、避難時の迷いを低減する手法を提案し、情報投影システムの開発を行った。

1. はじめに

近年、南海トラフ地震などの大型地震の発生が懸念される中で熊本地震や大阪府北部地震など様々な地震が発生し、多くの被災者が出た。熊本地震の場合、地震は夜に発生したため、住民は夜間の避難を余儀なくされた。また地震の際、特に沿岸地域などでは地震発生から津波到達までの時間が短いため、より迅速な避難が求められる。そのため、避難訓練を定期的に行い、地域住民の防災意識を高める取り組みが全国各地で行われている[1]。

しかし、災害発生時に土地勘のある場所にいるとは限らない。避難訓練に参加し、事前に避難場所や避難経路を把握している地域住民と比べ、観光客などの土地勘が無い人の場合、避難場所や経路が分からないため迅速な避難は難しくなる。さらに、夜間避難の場合、災害時には停電の影響で街灯が消えることが予想されるため、避難場所の案内を行う看板などの避難経路上にある目標物が確認しづらくなる。加えて、建物等の崩壊により、道路には瓦礫などの障害物が散乱するため、昼間の避難と比べより足元へ注意を向ける必要がある。

また、災害時の避難支援として、スマートフォンを用いて避難に必要な情報を提供する手法やサービスが多く存在する。これはスマートフォンの画面に表示される情報を見て避難を行うものである。しかし、夜間避難時にスマートフォンの画面を注視しながら避難場所まで暗闇の中を移動するのは、周囲の状況や足元への注意が疎かになり危険である。

さらに、避難者への避難情報提供において、避難者の現在地に合った適切な避難情報が必要となる。しかし、スマートフォンなどの携帯端末の GPS のみを用いた位置測位では、その精度に影響され誤差が発生し、実際の現在地とずれた位置情報が表示されることがある。インターネット

に接続することで誤差の補正が行われ、より精度の良い位置測位が可能だが、災害時には、インターネットへの接続が出来ない可能性もある。そのため、GPS による位置測位に加えて、他の方法を取り入れる必要がある。

そこで、本研究では投影装置を用いて、その投光範囲に避難情報を表示し、夜間避難時に懐中電灯のように足元を照らして状況を確認。同時に避難情報を取得することで、夜間避難を安全かつ迅速に行う手法を提案する。また、交差点などの迷いそうな場所に情報を設置し、取得した位置情報を基に表示情報を切り替えることで、避難時の迷う時間を低減する手法を提案、評価する。本研究では、災害時の夜間避難、また土地勘の無い場所での避難を想定する。

2. 関連研究

本章では、災害時における情報提供に関する手段・サービスと、情報の投影など光を用いた情報提供に関する研究について述べる。

2.1 災害時の情報提供に関する手法とサービス

災害時の情報提供の手段として、避難経路上に設置された情報を用いて避難する研究や取り組みに[2],[3],[4]などがある。品川区では街路灯に避難所・避難場所を記載した標示シートを貼る取り組み[4]が行われている。このシートには地図情報をスマートフォン等で読み取れる QR コードを記載している。しかし、災害時には停電の影響でシートを発見できない可能性がある。

災害時の避難支援を行う方法として、[5],[6],[7],[8]などがある。[5]の全国避難所ガイドは、全国の自治体が定めた災害時の避難所や避難場所を数多く収録し、現在地周辺の避難所を検索して道順をルート案内する災害時用ナビゲーションアプリである。データベースに収録された避難所や避難場所、気象警報などの現在地周辺の情報を取得して表示

^{†1} 和歌山大学 大学院 システム工学研究科

^{†2} 和歌山大学 システム工学部

する。オフライン時でも、キャッシュされた避難所情報や地図が使用できるため、通信環境が悪い状況でも使用できる。また AR カメラやコンパスの表示機能があり、避難所や事前に登録した自宅の方向が矢印で表示される。しかし、夜間避難時にスマートフォンの画面を注視しながら暗闇の中を移動するのは、周囲の状況や足元への注意が疎かになり危険である。

2.2 光を用いた情報提供に関する研究

光を用いた情報提供に関する研究に[9],[10],[11],[12]などがある。[9]は、プロジェクターを利用した情報提示に関する研究で、サイクリング中の地図ナビゲーションを行う。これは、自転車に取り付けられたプロジェクターを使用し、前方の道路にスマートフォン画面の地図を投影することでナビゲーションを行う。これにより、スマートフォンの画面を注視することなく、周囲の環境に注意を向けながら走行可能である。

また、先行研究[13]では、試作した投影装置を用い、その投光範囲に避難情報を表示することで、夜間避難時に懐中電灯のように足元を照らして状況を確認。それと同時に避難情報を取得し避難支援を行う手法を提案した。模擬避難訓練を実施し評価した結果、従来手法のスマートフォンなどの端末画面を注視した避難より、安全に避難できることを示唆した。しかし、GPS のみで位置測位を行っているため、位置情報の誤差が発生し、表示する避難情報が切り替わるのに時間がかかり迷ってしまう場面もあった。

3. 提案手法

土地勘の無い場所での避難は、避難場所の方向や経路などの避難情報が必要となる。さらに、夜間避難時には足元が見えづらい状況で移動する。そのため、足元を照らすことで安全に移動しつつ、同時に避難情報を取得する必要がある。

また、[14]の研究によると、初めて避難を行う場所では迷いが発生する位置が存在し、分かれ道のある地点の他にも、地図上で確認して想像した風景と実際の風景に違いがあることなどの迷いの要因がある。そのため、迷いそうな場所に看板等で情報を設置し、そこから情報を取得することで迷う時間を減らすことが出来ると考える。しかし、災害時には停電の影響で夜間に看板を視認できるとは限らないため、暗闇でも看板を発見しやすいようにする必要がある。

図 1 に提案手法の使用想定図を示す。本研究では、地震発生時の夜間避難の際に避難情報投影システムを利用し、懐中電灯のように足元や前方の経路を照らしつつ、そこに避難情報を投影することで避難者に避難情報を提供する。基本的には投影装置の GPS で取得した避難者の現在地に応じて、提供する避難情報を切り替える。しかし、GPS の誤差が生じて上手く切り替わらない場合、交差点などの迷

いような場所に看板や掲示等で情報を設置し、その情報を投影装置で読み取り、表示する情報を切り替える。設置する看板には QR コードを記載し、投影装置のカメラで読み取ることで経路上の位置情報を取得する。看板は光を反射する素材で作成することで、投影装置で照らした際にその存在を発見しやすくし、読み取りにかかる時間を減らす。

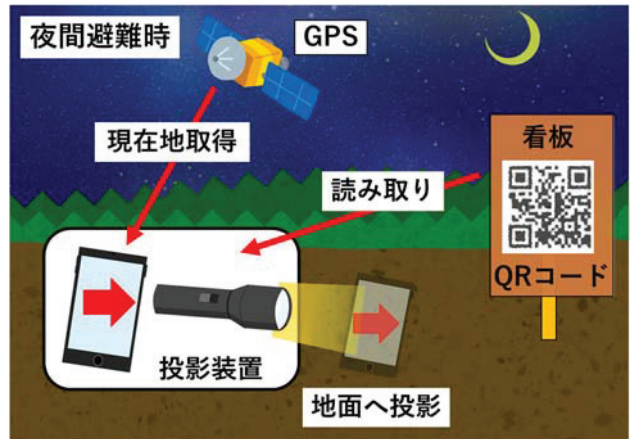


図 1 使用想定図

3.1 想定環境

本研究では想定するユーザを、避難誘導を先導する人物とする。本手法の足元や避難経路上の状況を確認しながら、同時に避難情報を取得するという性質上、避難の先頭に行く人物が投影装置を持ち、後続の避難者は先頭の人物に続いて避難することが望ましい。このことから、本手法では[15]の研究における吸着誘導法に基づく避難誘導を行う事を想定している。

また、避難を行う環境は、災害時の夜間避難、特に地震発生時の土地勘の無い、屋外での避難を想定している。さらに、停電の影響を考慮し、市街地においても街灯などは消えており、足元や道路が暗く把握しづらい状況に陥ることも想定する。

3.2 提案システムの動き

本提案システムを使用して避難を行う避難者は、避難時に交差点などの経由地点を複数通過して、最終的な避難場所まで避難を行う。システムの画面には、今目指している経由地点までの情報を表示し、経由地点に到達時は、次の経由地点までの情報に切り替え、これを繰り返すことで避難場所まで避難する。

基本的には GPS を用いて避難者の現在地を取得し、経由地点に到達したかを判定するが、GPS の位置測位だけでは上手く切り替わらない場合がある。その場合、各経由地点の地面からの高さ 1m の位置に設置された QR コードを投影装置の端末カメラで読み取ることで、表示する情報を切り替える。表示する情報は、目指す経由地点の方向を指す矢印と、経由地点までの経路を示す地図である。

3.3 システムの構成

図2に本システムの構成を提示する。投影装置は、専用のアプリケーションをインストールした携帯端末と小型プロジェクターを用いて構築する。アプリケーションには地図情報や避難経路・避難方向などの避難に必要なデータを予め保持しておく。

地震発生時に、携帯端末のGPSを用いて取得した現在地を元に、保持しているデータの中から適した避難情報を取得する。端末は避難情報から目指す経路地点の方向にあたる避難方向を計算し、その方向を指し続ける矢印を画面に表示する。また、目指す経路地点までの経路を示す地図を画面に表示する。そしてプロジェクターのミラーリング機能を用いて、端末の画面を地面へと投影し、避難者は投影された避難情報を見て避難する。経路地点に到達しているのに、表示情報が切り替わらない場合は、経路に設置されているQRコードを端末のカメラで読み取ることで、表示情報を切り替える。

このシステムを使用することで、夜間避難時に足元の状況を確認しつつ、同時に避難情報を取得することが可能である。これにより、従来のスマートフォンの画面を注視しながらの避難と比べ、自然と視線を前方に向けやすく足元や周囲の状況に気を配りながら避難することが出来ると考える。また、避難情報を地面へと投影するため、このシステムを持って避難する先頭の誘導者とは別の避難者も、隣やすぐ後ろから投影された情報を見る事が可能だと考えられる。他にも、壁面に投影することで後続の避難者に避難情報を共有することも可能である。

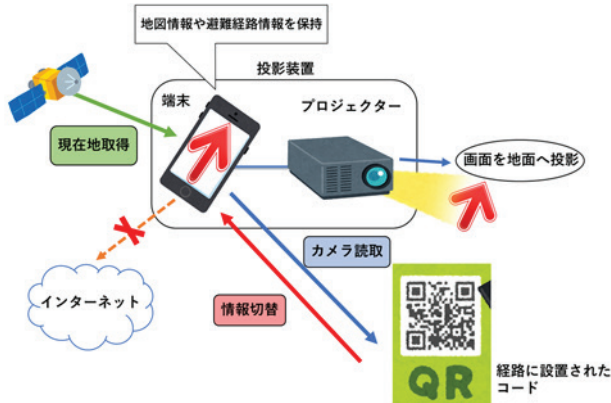


図2 システム構成図

4. 提案システムの実装

前節で述べた提案システムをAndroid端末で使用するアプリケーションとして実装する。

4.1 実装環境

Windows 10 Enterprise 21H2のPCにAndroid Studio3.5をインストールし、Android端末(Android 10)を利用したアプリケーションとしてJava言語で開発を行い、エミュレー

タ及び実機にて動作確認を行う。プロジェクターは、Canon ミニプロジェクター C-13Wを使用し、ミラーリング機能を用いてAndroid端末の画面を投影する。使用したプロジェクターの仕様は表1に示す通りである。

表1 Canon ミニプロジェクターC-13Wの仕様

光学	明るさ	最大 130 lm
	表示解像度	WVGA(854×480)
バッテリー	容量	7.4V, 3100mAh
	駆動時間	約2時間
外形寸法	120(幅)×120(奥行き)×33(高さ) mm	
質量	410g	

4.2 投影装置の試作機

作成した投影装置の試作機を図3に示す。この試作機は専用アプリケーションをインストールしたAndroid端末と小型プロジェクターをアームで固定し一体化したもので、手で持って懐中電灯のように使用する。プロジェクターのミラーリング機能を用いてAndroid端末と接続し、Android端末の画面を投影している。使用する際には、プロジェクターから発する光で、足元や進行方向前方の地面を照らすことで、そこに映し出される避難情報を取得可能である。試作機の外形寸法は、120(幅)×250(奥行き)×350(高さ)mmで、重さは約1kgである。

図3の試作機の場合、端末のカメラが向く方向と、プロジェクターから出る光の方向が上手くかみ合っていない。そのため、経路に設置されたQRコードを投影される光で照らしながらカメラで読み取ることが出来ない。現在は、端末とプロジェクターの位置を調整することで、QRコードを投影光で照らしながら読み取れるように改良を行っている。



図3 投影装置の試作機

4.3 作成したQRコード

作成したQRコードを図4に示す。これは、避難経路の各経路地点に予め設置されている。投影装置の端末カメラ

で読み取することで、位置情報を取得し、投影する情報をその位置に応じた避難情報に切り替える。夜間でも発見しやすくするために、QRコードは光を反射する素材(再帰反射シート)で作成しており、紙に印刷したものと比べ発見しやすい。本研究では、A4サイズ(18.5cm×18.5cm)で作成した。本手法では投影装置で足元や進行方向前方の地面を照らすため、路面上に設置した場合発見しやすくなるが、土や汚れ等で読み取れない可能性があるため、各経路地点の地面から高さ約1mの位置に設置する。また、本研究では考慮していないが、昼は避難案内看板として避難経路や方向などの避難情報を提供できることが望ましい。



図4 作成したQRコード

4.4 アプリケーションの実装

この節では、アプリケーションに実装した機能について説明する。図5にアプリケーションの処理を示す。避難誘導時の画面では、アプリケーションはこの処理を行う。

```

While(避難場所に到達していない){
  現在地取得;

  If(経路地点 $W_n$ に到達){
    次の経路地 $W_{n+1}$ の避難情報を取得;
  }

  現在地から見た経路地点 $W_n$ の方向を計算;
  加速度・地磁気センサの値取得;
  回転行列で端末の向きを計算;
  画面描画;
}

```

図5 アプリケーション処理

(1) 避難経路の全体表示

アプリケーション起動時には、避難経路全体の地図情報を画面に表示する。まず、GPSから得た避難開始位置の緯

度・経度を用いて、その周辺の地図情報を選択し地図画像を画面に表示させる。避難者は避難開始前にこの画面を見ることで、避難場所と避難経路を確認することができる。

(2) 避難誘導画面の表示

避難中には、避難方向(現在目指す経路地点の方向)を指す矢印と、避難者の現在地から目指す経路地点までの経路を示す地図を画面に表示する。図6に避難誘導時の画面を示す。

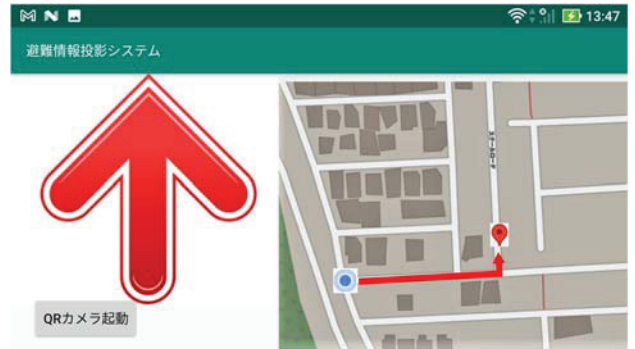


図6 避難誘導時の画面

まず、この画面に遷移時にGPSを用いて避難者の現在地を取得し、避難開始地点 S から目指す経路地点 W_n までの地図情報と経路地点の緯度経度、経路地点到達を判定する緯度経度範囲を保持しているデータから選択する。この画面が起動中は定期的にAndroid端末に搭載されているGPSを用いて、避難者の現在地を取得する。経路地点到達を判定する緯度経度範囲と、避難者の現在地情報を比較し、現在地が緯度経度範囲に含まれていた場合、目指す経路地点 W_n に到達したと判定する。到達した場合、次の経路地点 W_{n+1} までの地図情報と、経路地点 W_{n+1} の緯度経度情報に切り替える。しかし、実際は経路地点 W_n に到達しているが、GPSの誤差によって到達判定がされない場合、避難者はボタン操作でカメラ画面に遷移し経路地点 W_n に設置されたQRコードを読み取ることで、次の経路地点 W_{n+1} までの地図情報と経路地点 W_{n+1} の緯度経度情報に切り替える。これを避難場所 G に到達するまで繰り返し行う(図7)ことで、避難開始地点から避難場所までの誘導を行う。

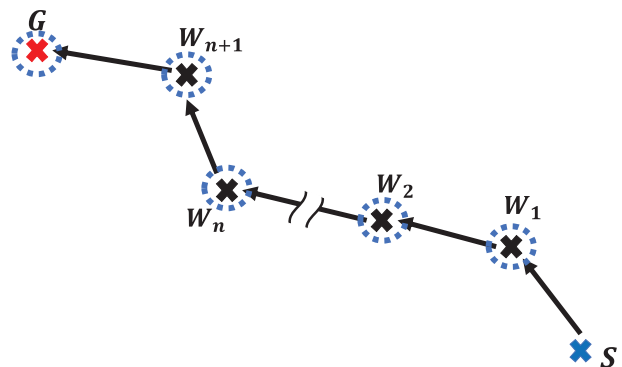


図7 避難場所までの誘导图

誘導画面の左半分には避難方向(現在目指す経路地点の方向)を指す矢印を表示する。現在の端末の向きと進行方向の角度を計算し、矢印の画像に回転処理を行い、避難方向を指し続ける。まず、GPS を用いて取得した端末の現在地情報 p_{now} と、経路地点 W_n の緯度経度情報 p_n を用いて、経路地点の方向角度 θ_1 を計算する。次に Android 端末の加速度センサの値 g と地磁気センサの値 m を用いて、回転行列が取得できるセンサのメソッドを使用し、回転行列を取得する。回転行列から端末の傾きを表す3軸の回転角を求めるメソッドを使用し、3軸の回転角 θ_2 を取得する。北向きを0として考え、方向角度 θ_1 と端末の回転角 θ_2 だけ画像を回転させることで、Android 端末の姿勢を考慮して、矢印が進行方向を指し続けるようになる(図8)。

$$\begin{cases} \theta_1 = \text{Direction}(p_{now}, p_n) \\ \theta_2 = \text{Angle}(g, m) \end{cases}$$

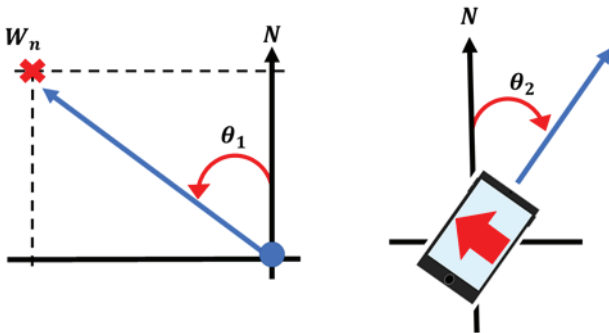


図8 避難方向の計算

画面の右半分には、避難者の現在地から目指す経路地点までの地図画像を表示する。この地図は、(1)の避難経路全体表示の地図と比べて、周辺の地理がわかるように、拡大したものである。

この画面表示中は、GPS を使用し、現在地を取得する。取得する GSP の値は、Android 端末が 0.5 秒間に 1m 以上移動していた場合に更新される。

5. 投影の様子

この節では、作成した試作機を用いて夜間に投影した様子を示す。また、この節で使用する画像は、プロジェクターの投光部から地面まで約 1m の距離から投影している。

試作機を使用し、夜間にコンクリートに投影した様子を図9の①に示す。この図からわかる通り、矢印と地図が明確に見えることがわかる。さらに明るさを表す照度を測定した結果、投影しない暗闇の場合は 0lux だが、投影した場合には 156lux であった。夜の街灯下での照度が 100lux と言われているため、夜間に足元を照らすには十分な光量であることがわかる。また、移動時に投影画面が揺れることで、文字情報が読み取れない可能性があるため、本研究では文字による情報提供は行わない。

さらに、夜間に街灯の真下に投影した様子を図9の②に示す。情報が細かい地図は街灯による影響で多少読み取りにくくなっているが、矢印が指している方向はしっかり読み取ることが出来る。

また、投影する路面の状況によってどのように見えるか検証を行った。図9の③は芝生の上に投影した様子である。芝生の場合、矢印が指す方向は読み取れるが、地図は読み取ることが難しいという結果となった。

以上のことから、投影装置は夜間に足元や道路上の状況を確認するには十分は光量であることが確認できた。しかし、街灯などの周囲環境の光や芝生等路面の影響によって見え方が変わり、地図などの細かな情報の読み取りが困難になる可能性を確認した。

6. 評価方法

本研究では、提案手法を用いて日没後に模擬避難実験を実施する。GPS のみで位置測位を行うスマートフォンと懐中電灯を用いた避難と比較する。実験経路は、10 分程度で到達できる距離で、経路が被らないように2つ設定する。被験者を2つのグループに分け、各実験経路で異なる避難方法で避難を行う。

各実験経路で避難にかかった時間である避難時間、画面



①コンクリート

②街灯下

③芝生

図9 投影の様子

を見ていた時間である画面視認時間、避難時に迷った時間の迷い時間の3つを計測する。避難時間は避難速度の検証、画面視認時間は安全性の検証に用いる。迷い時間は各経路地点で計測し、避難全体での迷った割合や経路地点毎に比較を行い評価する。評価結果は、ウィルコクソンの符号付順位和検定を用いて、有意水準5%で結果に有意差があるか検定を行う予定である。また、アンケート調査も実施し本手法の有効性を検証する。

7. おわりに

本研究では、災害時の夜間避難を支援する手法として、試作した避難情報投影装置を用いて、足元を照らしつつ避難情報を提供する手法を提案した。

今回は投影装置を試作したが、機器の発展により将来的にはより軽量化し、懐中電灯のように身近で手軽な形へと変わることが望まれる。また、光の明るさがより進歩すれば、蓄電や補助電源などで街灯がある場所や光が残る市街地でも投影する情報が見やすくなると考えられる。

さらに、今回は避難者の先頭が投影装置を使用し、他の避難者は先頭に追従して避難することを想定した。しかし、近年、プロジェクター機能を持つスマートフォンが登場しており、我々が持つ携帯端末の機能拡充によっては、災害時に避難者の多くが自身の携帯端末で足元を照らしつつ、避難情報を獲得する可能性も考えられる。その際に、本研究が避難支援の足がかりの一つとなることを望む。

謝辞

本研究の一部は、JR 西日本あんしん社会財団 2019 年度公募研究助成 19R051 の補助で実施した。

参考文献

- [1] 内閣府政策統括官(防災担当)「津波防災」,
<<http://www.bousai.go.jp/jishin/tsunami/tsunamibousai/tsunamibousaiday.html>> (参照 2021-12-20).
- [2] 林 能成: 鉄道における津波避難誘導標識の研究 -紀伊半島を周遊する JR 線の事例から-, 社会安全学研究, 第 3 号, pp.117-125(2013).
- [3] 一般社団法人 SCB ラボ:「ラズパイリード」チーム, 入手先<<https://scblab.jp/topic/91-ictclubnews4.html>>(参照 2021-12-20).
- [4] 品川区: 避難ここ知一る, 入手先
<https://www.city.shinagawa.tokyo.jp/ct/other000091700/30_yosan_4.pdf>(参照 2021-12-20).
- [5] ファーストメディア株式会社: 防災情報「全国避難所ガイド」, 防災情報全国避難ガイド(オンライン), 入手先
<<http://www.hinanjyo.jp/>>(参照 2021-12-20).
- [6] 濱村 朱里ほか: あかりマップ: 日常利用可能なオフライン対応型災害時避難支援システム, マルチメディア,分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集, pp2070-2078 (2014).
- [7] 一般社団法人 全国防災共助協会: 防災・避難誘導アプリ「みたちょ」とは, 一般社団法人 全国防災共助協会(オンライン), 入手先<<http://bousai.or.jp/mitacho/>> (参照 2021-12-20).
- [8] 西日本旅客鉄道株式会社「津波避難アプリ(スマートフォン)

を活用した迅速な避難誘導」,

<<https://www.westjr.co.jp/company/ir/movie/app.html>>(参照 2021-12-20).

- [9] Alexandru Dancu, Zlatko Franjic and Morten Field: Smart Flashlight: Map Navigation Using a Bikemounted Projector, Proc.CHI'14, pp3627-3630, (2014).
- [10] 安宅 彰洋, 岡田 成幸, 中嶋 唯貴: プロジェクションマッピングを応用した地震時室内最適避難誘導支援システムの開発 -A*アルゴリズムによる避難戦略の検討-, 日本建築学会北海道支部 研究報告集 No.89,pp.47-50 (2016).
- [11] 富永 拓也ほか: 地下街におけるスマートフォンの光を用いた避難誘導方式の提案, マルチメディア,分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集,pp.266-277 (2014).
- [12] 上田 遼: 行動特性に着目した津波避難の分析と対策-人間と ICT の相互作用による安全避難の共創-, 日本地震工学会論文集 第 17 巻,第 4 号,pp140-169 (2017).
- [13] 大塚 彩秀菜, 塚田 晃司: 夜間避難時に避難情報を投影提供する懐中電灯型避難支援システムの開発, 情報処理学会, ワークショップ 2020 (GN Workshop 2020) 論文集,pp51-58 (2020).
- [14] 川野由香子ほか: ペアテストング手法を適用した初回避難行動における気づき効果の検証, 情報処理学会, インタラクション 2018 論文集, pp642-645 (2018).
- [15] 杉万 敏夫ほか: 緊急避難状況における避難誘導方法に関するアクション・リサーチ(I), 実験社会心理学研究,Vol.22, No.2, pp.95-96 (1984).