

サイバー空間における避難誘導アプリによる避難時間短縮の分析

山上誠人¹ 黒木春樹² 池岡宏¹ 中道上^{1,3}

概要: 本研究では、土砂崩れや豪雨による災害が発生した場合に、避難者が屋内から迅速に避難することを支援する。Beacon とスマートフォンが連携し、立ち入り禁止エリアをアイコンと音で通知することで、迅速な避難誘導を可能とする避難誘導アプリ「V-Wall App」を提案する。Virtual Wall(仮想的な壁)による避難誘導の効果を検証するため、模擬環境をサイバー空間(仮想空間)に構築し避難時間を計測した。実験の結果、V-Wall App (Virtual Wall 表示済+音通知 OFF) の平均避難時間が最も短いことが明らかとなった。

1. はじめに

日本は自然災害が多い国であるため、地震や台風による大雨や土砂崩れ、洪水などが頻繁に発生している。広島県では平成30年7月に記録的な豪雨が発生しており、土砂崩れや浸水によって身動きがとれず、迅速に避難することができないといった問題が生じた。広島県内では、「みんなで減災」県民総ぐるみ運動を展開するとともに、防災拠点施設の耐震化や道路等の公共インフラの機能強化等を進めている[1]。広島県は、土砂災害による被害を軽減するためには、住民が災害から迅速に避難することが重要であると考えている。広島市では、土砂災害の被害を軽減するために地域の土砂災害を収集し土砂災害の危険性がある地域の住民に情報を配信するための固定式自力監視システムを開発・運用している[2]。

屋内にいるタイミングで土砂災害が発生した場合、避難者は災害がどこで発生しているかを把握することが難しく、避難時間が大幅に延びる可能性がある。また土砂災害が発生した地点を立ち入り禁止エリアとして、三角コーン等で物理的に設定する場合、設置するまでに土砂崩れの二次災害が発生する可能性が考えられる。屋内で避難をする際にも避難中に土砂崩れで災害の状況が変化し、災害に直面してしまう危険も考えられる。

屋内において二次災害を避けて避難誘導するために、Beacon とスマートフォンを利用した避難誘導に着目した。本研究では、Beacon からの通知に反応し、画面上に仮想的な壁 Virtual Wall をマップ上に表示して避難誘導を支援するスマートフォンアプリ「V-Wall App」を提案する。V-Wall App は、Beacon と連動し、避難者に立ち入り禁止エリアをアイコンと音で通知するアプリケーションである。これにより、発災直後に立ち入り禁止エリアを把握でき、安全な避難誘導が可能となる。

2. 想定する利用環境

本研究では大学やショッピングモールなどの大型施設に Beacon がすでに整備されている環境を想定している。例えば屋内の照明部分に Beacon が整備されており、位置

情報などをスマートフォンに通知可能な環境を構築するために、「LEDBeacon」を利用する[3]。LEDBeacon は発信機を搭載した LED 照明で、屋内位置情報を網羅的に提供することができる。Beacon とは極低消費電力の近距離無線通信規格「Bluetooth Low Energy (BLE)」を利用している位置特定技術、またはその技術を利用したデバイスのことを指す。BLE は主に IoT デバイスの低電力化を実現するために作られた新しい規格で、BLE の技術を使用した通信プロトコル iBeacon, Eddystone によって iPhone や Android で Beacon が利用できるようになった。Beacon は数 cm から数 10cm の高い精度で位置測定が可能で、屋内や建物でも使用することができる[4]。

屋内での避難は災害の規模や被害状況を正確に把握することが困難であるため、避難中に立ち入り危険エリアに入ってしまう可能性がある。そのような侵入を防ぐため、避難経路の分岐地点で立ち入り禁止エリアを通知する必要がある。また、土砂災害は災害発生時からの時間経過などで立ち入り禁止エリアが変化する可能性がある。Beacon を用いてリアルタイムに立ち入り禁止エリアを通知することができれば、被害状況が変化する環境にも対応することができる。このような Beacon 環境を活用して避難誘導を支援するツールとして避難誘導アプリ「V-Wall App」(図1)を提案する。

3. 避難誘導アプリ V-Wall App

Beacon からの通知に反応し、画面上に仮想的な壁 Virtual Wall をマップ上に表示して避難誘導を支援するスマートフォンアプリ V-Wall App を開発し、V-Wall App の有効性を検証するために実験パターンを設定した。

3.1 V-Wall App

V-Wall App のマップ画面を図1に示す。避難誘導アプリの中で表示される仮想的な壁を Virtual Wall と呼ぶ。Virtual Wall は物理的な壁と異なり実験環境上で実体を直接確認することができない。避難誘導アプリの柱(緑色)の間を塞いでいる線(オレンジ色)が Virtual Wall である。本システムは指定した地点で避難者のスマートフォンが Beacon に反応し、Virtual Wall を通知・表示するよう設定が可能であ

1 福山大学 工学部

2 北陸先端科学技術大学院大学

3 株式会社アンカーデザイン

る。これにより、立ち入り禁止エリアを避難者に通知し発生直後の避難誘導を可能とする。

本研究では、V-Wall App による避難誘導時間を計測するために、ストップウォッチ機能を搭載している。参加者はスタート地点 (S) において START ボタンを押下して計測を開始し、ゴール地点 (G) 到着時に STOP ボタンを押下するまでの時間を計測する。

3.2 利用方法の検討

提案する V-Wall App では、Virtual Wall の位置にある Beacon からの通知を受信した際のスマートフォンの通知音を設定することが可能である。V-Wall App を利用して避難誘導の際、Virtual Wall の通知方法やフィードバックについて検討した。通知方法については、音で通知する「通知あり」があり、フィードバックとしてマップ画面に Virtual Wall が表示される。このとき Virtual Wall を Beacon からの通知に関係なく常に表示しておくことで、より迅速な避難が可能となることが考えられる。これらを組み合わせて、Virtual Wall のパターンを設定した。サイバー空間の避難環境を図 2 に示す。

A) 物理的な壁

Virtual Wall と同じ位置に、柱の間を塞ぐように縦 180cm×横 135cm のサイズで配置されている

B) V-Wall App (Virtual Wall 表示有+音通知 ON)

Virtual Wall 前のマスに侵入したタイミングで通知音を鳴らすとともに Virtual Wall を表示する

C) V-Wall App (Virtual Wall 表示済+音通知 ON)

Virtual Wall 前のマスに侵入したタイミングで通知音を鳴らす、Virtual Wall は最初から表示済み

D) V-Wall App (Virtual Wall 表示済+音通知 OFF)

Virtual Wall 前の通知音は鳴らさない、Virtual Wall は最初から表示済み

V-Wall App の避難誘導効果を検証するために、物理的な壁を含む 4 パターンの実験環境を設定した。まず物理的な壁は比較対象として、防火扉のような形で経路が閉ざされて、その方向には避難できない状況を想定している。

4. サイバー空間における避難誘導実験

物理的な壁と Virtual Wall による避難誘導のしやすさについて検証するために大型施設内を想定した模擬環境を用いて避難時間を計測する避難実験を実施した。

4.1 サイバー空間での実験環境

サイバー空間では、フィジカル空間で再現可能な実験環境を構築した。サイバー空間の実験環境はゲームエンジンの Unity を使用し構築した。サイバー空間の実験環境をフィジカル空間に再現することを想定し、空間の間取りや床のテクスチャを考慮している。サイバー空間では、Virtual Wall の手前のエリア(100cm×100cm)に参加者が入ると Virtual Wall の表示と通知音が鳴るプログラムを設定してい

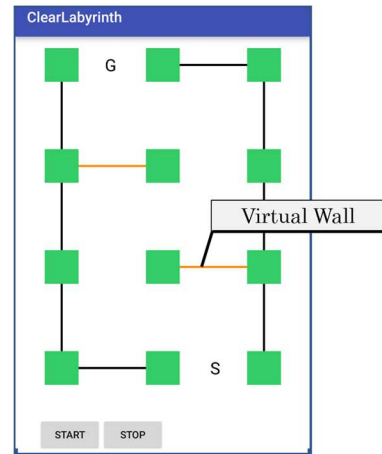
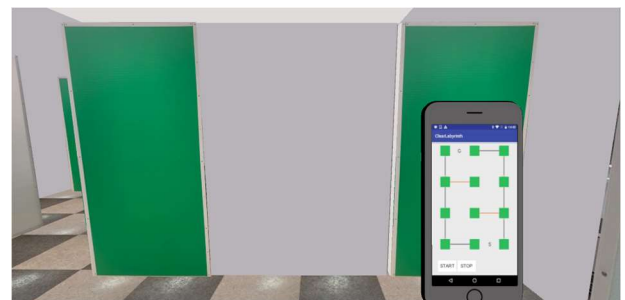
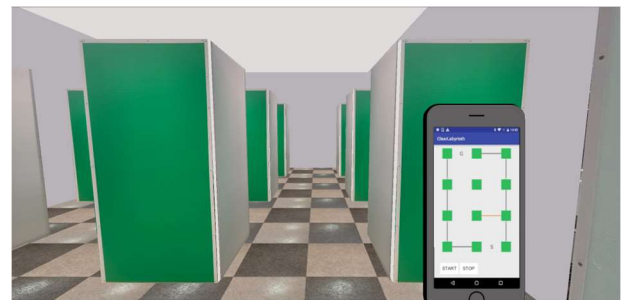


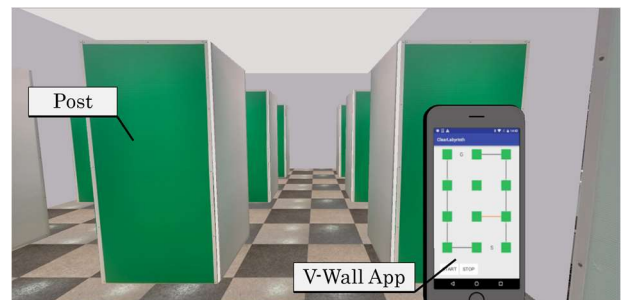
図 1 V-Wall App のマップ画面



A) 物理的な壁



B) Virtual Wall (通知音あり+画面表示あり)



C) Virtual Wall (通知音あり+画面表示済み)

D) Virtual Wall (通知音なし+画面表示済み)

図 2 サイバー空間上の避難環境

る。

参加者は実験環境上でパソコンのキーボードによる前後左右の移動操作により避難する。このとき V-Wall App のストップウォッチ機能を用いて時間を計測する。参加者には検証を始める前に、物理的な壁のパターンでパソコンの操

表 1 サイバー空間における避難時間の平均と標準偏差

避難誘導の種類	平均時間 [s]	標準偏差
A) 物理的な壁	13.078	5.428
B) V-Wall App (Virtual Wall 表示有+音通知 ON)	11.893	6.009
C) V-Wall App (Virtual Wall 表示済+音通知 ON)	11.266	4.966
D) V-Wall App (Virtual Wall 表示済+音通知 OFF)	10.600	4.565

作に慣れてもらってから検証を開始した。そのため、参加者は必ず物理的な壁のパターンから実験順序が開始することになる(例 A→C→D→B)。避難時間のデータは被験者 31 人×4 パターン=124 回分を記録した。

4.2 避難誘導実験の実験結果

サイバー空間での避難実験の結果、避難時間の平均と標準偏差を表 1 に示す。実験の結果、D) V-Wall App (Virtual Wall 表示済+音通知 OFF) が最も短く、C) V-Wall App (Virtual Wall 表示済+音通知 ON) が 2 番目に短い結果となった。D と C パターンは Virtual Wall が画面表示済みであったため、参加者があらかじめ Virtual Wall の位置を把握できたためだと考えられる。また C が D よりも長かった要因として、参加者が通知音に反応し動きが一度止まることが考えられる。

B) V-Wall App (Virtual Wall 表示有+音通知 ON) が 3 番目に短く、A) 物理的な壁が最も長い結果となった。その要因として、A パターンではスマートフォンに実験環境のマップ画面のみが表示されるのに対し、B パターンではマップ画面上に Virtual Wall が表示される。これにより参加者は立入禁止エリアを音通知とともに確認することができ、A よりも避難時間が短くなったと考えられる。

5. サイバー空間における視線計測実験

V-Wall App が災害時の避難において、有効な視覚情報を提供できているか検証するために、サイバー空間の実験環境で参加者の注視点を計測する実験を実施した。

サイバー空間上で避難する参加者の注視点を計測するために Tobii X2-60 Eye Tracker を用いて参加者の注視点デ

ータを記録した。視線計測実験は避難誘導実験と同様の模擬環境で実験を行った。参加者には視線計測実験を始める前に画面の中心点を注視してもらってから実験を開始した。これは参加者ごとの注視点の位置ずれを補正することを目的としている。

サイバー空間による視線計測の結果を表 2 に示す。実験の結果、表 1 の実験と同様に、D) V-Wall App (Virtual Wall 表示済+音通知 OFF) が最も平均時間が短い結果となった。また、A) 物理的な壁も前回と同様に最も長い結果となった。

注視点の注視割合 (V-Wall App) は C) V-Wall App (Virtual Wall 表示済+音通知 ON) が最も高く、B) V-Wall App (Virtual Wall 表示有+音通知 ON) が 2 番目に高い結果となった。その要因として C と B パターンはどちらも音通知が ON になっているため、参加者は音通知が鳴るたびに、V-Wall App を見ていることが考えられる。また 1 秒間あたりの注視割合 (V-Wall App) も C) V-Wall App (Virtual Wall 表示済+音通知 ON) が最も高い結果となり、C パターンが全パターンで最も V-Wall App を注視していることが分かった。

環境から App の確認回数は、A) 物理的な壁が最も多い結果になった。その要因として A パターンでは立入禁止エリアがマップ画面上に反映されていないため、参加者は実験環境を逐一確認する必要があったためと考えられる。

注視点移動の速度は D) V-Wall App (Virtual Wall 表示済+音通知 OFF) が最も速い結果となった。その要因として D パターンは最初から画面上に全ての情報が反映されているので、参加者は瞬時に実験環境の状況を把握できたと考えられる。

これらの結果からサイバー空間では、Virtual Wall での避難誘導が物理的な壁より早い結果となり、V-Wall App による避難誘導は避難時間の短縮に有効だと考えられる。

6. フィジカル空間での試行

サイバー空間での実験の結果、スマートフォンの V-Wall App で Virtual Wall を表示することで避難時間を短縮することができた。今後はフィジカル空間で Beacon からの信号を受信して Virtual Wall を表示することが可能かどうかを検証する。フィジカル空間にサイバー空間と同様の実験環境を試作した。

表 2 サイバー空間による視線計測結果

	平均時間 [s]	注視割合		注視割合		環境から V-Wall App の確認回数	V-Wall App から環境の確認回数	移動距離	速度
		V-Wall App	それ以外	V-Wall App	それ以外				
A)	25.183	0.192	0.808	4.834	20.349	30.0	30.2	57566	2347
B)	18.075	0.225	0.775	4.060	14.016	27.2	27.4	39166	2263
C)	21.389	0.248	0.752	5.306	16.083	26.8	27.0	54567	2346
D)	16.599	0.166	0.834	2.752	13.847	18.6	18.6	45125	2762

フィジカル空間に再現した実験環境を図3に示す。試作した実験環境はプラスチック製ダンボール柱を用いて縦4×横3と柱を並べ、避難経路に見立てた。設置間隔は床タイルサイズ(45cm×45cm)を基に、大人2人が通る際に余裕のある135cmに設定した。模擬環境は小規模な範囲での避難誘導効果について検証するため、既に防災訓練で利用されている避難環境を元に構築した[5]。

V-Wall Appの設定画面を図4に示す。設定画面は計測時には利用者からは確認できない下部に位置している。設定画面では、Virtual Wall位置の設定とBeaconからの通知を受信した際のスマートフォンの振動と音を設定することが可能である。またCLEARボタンを押下することでVirtual Wallの設定を初期化することができ、ANSWERボタンを押下することで設定画面に設定したVirtual Wallをマップ画面上に表示することができる。RssiRangeはスマートフォンが鳴動するRSSI値をシークバーで設定することができる。RSSI値はBeaconからの電波強度、Tx Powerは電波出力値を表している[6]。経過時間はストップウォッチ機能で測定した時間を表示する。

試作した実験環境で模擬実験を行った結果、いくつかの問題が発生しました。参加者が実験環境を移動する際に参加者の移動速度によってはスマートフォンがBeaconの信号に反応せず、V-Wall Appのマップ画面上にVirtual Wallが表示されないことがありました。また、参加者が持っているスマートフォンの位置によっては、Beaconの信号が参加者のスマートフォンに届きにくい場合がある。

今後は実験環境に設置しているBeaconの位置や個数を調整することで、フィジカル空間の通信精度の向上を図る。

7. まとめ

本研究では、避難誘導アプリ「V-Wall App」が防火扉などの物理的な壁のように、立ち入り禁止エリアを分かり易く避難者に通知できるかについて検討した。また、V-Wall Appが災害時の避難において、有効な視覚情報を提供できているか検証するために、サイバー空間の実験環境で参加者の注視点を計測する実験を実施した。避難誘導・視線計測実験ともに物理的な壁よりもVirtual Wallによる避難誘導の方が早い結果となり、V-Wall Appによる避難誘導は避難者の迅速な避難を可能にすることが明らかとなった。

今後は、実験順序の改善や操作方法の見直しを行うことで、V-Wall Appの避難誘導効果について分析を進めていく。視線計測実験では、実験参加者の人数を増やすことでV-Wall Appの視覚情報についての検証を進めていく。

フィジカル空間の実験環境については、サイバー空間の実験環境を再現するために、環境を整備していく。そしてフィジカル空間でも避難時間を記録し、サイバー空間での避難時間と比較する。その結果からV-Wall Appの有効性を分析していく。



図3 フィジカル空間の実験環境

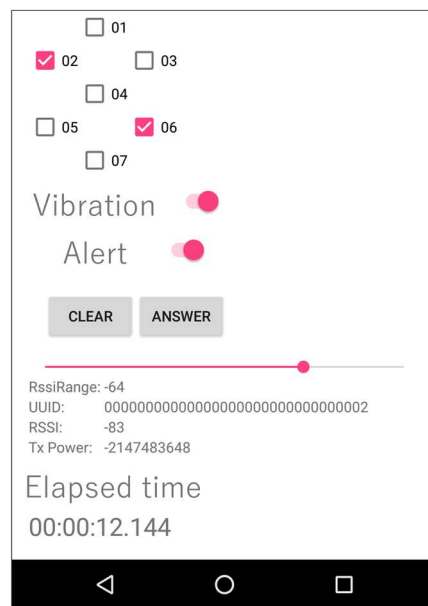


図4 V-Wall Appの設定画面

参考文献

- [1] “ひろしま未来チャレンジ”. <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/challenge/scika-115.html>, (参照 2021-12-13).
- [2] K. Shin, H. Kodama and M. Nishi, "Development of Local Landslide Danger-Related Information Notification System on TV Set for Early Evacuation," 2019 IEEE Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, Intl Conf on Cloud and Big Data Computing, Intl Conf on Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/CBDCCom/CyberSciTech), 2019, pp. 672-676.
- [3] “光とビーコンを融合した製品「LEDBeacon®」”. <https://tagcast.jp/ledbeacon/>, (参照 2021-12-13).
- [4] “近距離 IoT 無線の主役 Bluetooth Low Energy から Bluetooth 5へ”. <https://thinkit.co.jp/article/9959>, (参照 2021-12-13).
- [5] “煙体験ハウス”. <http://www.tentya.co.jp/kemuri.htm>, (参照 2021-12-13).
- [6] 辻川直斗, 竹本一哉, 藤井誠貴, 中道上, 渡辺恵太, 小滝泰弘. Beaconによる屋内危険空間への接近通知の認識. 第79回全国大会講演論文集 2017(1), pp.283-284, 2017.