

WebARを用いた誘導システムの開発

雲仙温泉街における避難誘導および観光案内誘導の実施例

羽田 優太^{*1}・池畠 由華^{*1}・田中 俊成^{*1}・欄木 龍大^{*2}・道越 真太郎^{*3}

Keywords : web-based augmented reality, evacuation guidance, wide-area evacuation, tourism support, co-creation
WebAR, 避難誘導, 広域避難, 観光支援, 共創活動

1. はじめに

近年、地震や豪雨などの大規模災害が各地で発生しており、避難誘導の重要性が高まっている。特に、観光客やオフィス勤務者をはじめとする土地勘のない人々にとっては、災害時に安全な避難行動をとることは難しい。加えて、災害時は誰しも冷静さを欠きやすく、直感的にわかりやすい誘導手法が求められる。

そこで注目されるのが、近年急速に発展している拡張現実（Augmented Reality, 以下、AR）技術である。ARは、現実の視界上にデジタル情報を重ねることで、利用者が必要な情報を直感的に取得できるため、人の誘導手段としての応用が期待されている。

一方、モバイルデバイスを用いたARを使った誘導では従来のGlobal Positioning System（以下、GPS）の精度では不十分であり、正確な位置情報を得るために他の情報を用いることが一般的である。堀江ら¹⁾はARマーカーを用いた補正法を、田崎ら²⁾はビーコンを用いた補正法を、Brataら³⁾はGoogle Street Viewを用いた補正法を提案している。しかしこれらの手法は計算が複雑であり、かつ事前に特定の準備作業が必要となるため、広範な地域での一般利用には向かない。

そこで本研究では、GPSデータのみを使用し、位置情報に多少の誤差が生じた場合においても正確に人を誘導できるよう設計された、軽量なWebベースのARシステムを開発した。また、開発したシステムを用いて観光地での実証実験を実施し、その有効性を検証した。

2. AR誘導システムのコンセプト

災害時のみに使用される機器やシステムは、緊急時に人が適切に操作できないリスクを伴う。この問題は日常的な使用による習熟度が不足していることに起因し、迅速かつ効果的な対応を妨げる要因として認識されている。このような背景を踏まえ、日常時に利用される技術やシステムを非常時にも活用し、生活の質を向上させる「フェーズフリー」の考え方方が注目されている。フェーズフリーデザインは表-1に示す5原則に基づくことで実現されると提唱されている。

表-1 フェーズフリーの5原則^{注1)}
Table 1 Five principles of Phase-Free

常活性	日常時だけでなく非常時にも快適に活用可能
日常性	日常時に心地よく活用可能
直感性	誰にでもわかりやすく利用しやすい
触発性	安心や安全に関する意識を提供
普及性	誰でも気軽に活用可能

本AR誘導システムは、図-1に示すように「フェーズフリー」の考え方を取り入れ、平常時は観光地での観光案内や観光スポットでのプロモーションとして活用し、災害発生時には発災初期段階において、避難場所への誘導を可能とするものである（常活性・日常性・触発性）。

また、本システムは一般的に用いられるスマートフォンアプリケーションによるAR技術ではなくWebベースのAR技術を採用しており、特別なアプリのインストールを不要とした。これにより、利用者はより簡単

*1 技術センター 都市基盤技術研究部 防災研究室

*2 技術センター イノベーション戦略部 技術開発戦略室

*3 技術センター 知的財産部

にシステムを利用することができ、災害時にシームレスかつ迅速な対応が期待される（直感性・普及性）。

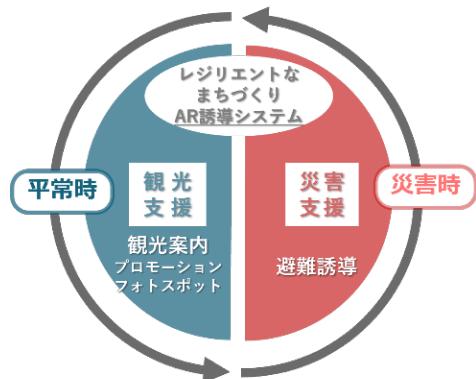


図-1 フェーズフリー概念図

Fig.1 Phase-Free concept diagram

3. システムの概要

3.1 AR 表示システムの概要

表-2に示す通り、ARの表示方法にはさまざまな種類があるが、本研究ではGPSを基にコンテンツ表示を行うロケーションベースARを採用した。これにより、現地でのARマーカーの設置や地形のスキャン等の事前準備が不要となり、ARをより手軽に使用することができる。表示するコンテンツには位置座標が付与され、ARを使用する端末の位置からの相対位置を計算することで表示が行われる。一方で、ロケーション型ARにはGPSの誤差に由来する位置のずれや端末コンパスの誤差に起因する方位のずれが生じる可能性があり、それを考慮した運用が必要となる。

また、本研究ではWebブラウザ上で動作するAR技術としてAR.jsライブラリ⁶⁾を用いたが、近年更新が停滞しており、主要なWebブラウザ環境で正常に動作しなかった。このため、ライブラリの一部ソースコード

に対して改変を加え、動作互換性の確保と実装の安定化を図った。

3.2 ARによる誘導システムの概要

WebARを用いたコンテンツの表示はGPSの精度不足によりずれが生じる。このとき、カメラ映像上にコンテンツを重ねて表示するというARの特性から、ARコンテンツの見かけのずれは、その絶対値ではなく角度が重要な要素となっている。図-2に示す通り、GPSのずれにより利用者の見かけの位置がA'となる場合、コンテンツに対しての見え方はA'→Bとなる。これを利用者はAの位置で画面を通して見るため、コンテンツの見かけの位置がB'となる。このとき、GPSのずれuの大きさに対するコンテンツまでの距離に着目すると、GPSのずれに対してコンテンツまでの距離が大きくなるほど角度のずれθの最大値は小さくなり、コンテンツが近くなると大きくなる。ここでARを用いた案内で一般的に使われることが多い矢印について考えると、誘導方向を指示する位置とコンテンツまでの距離が比較的短くなるため、見かけの角度のずれθが増大する恐れがあり、正確な誘導が難しい場合がある。

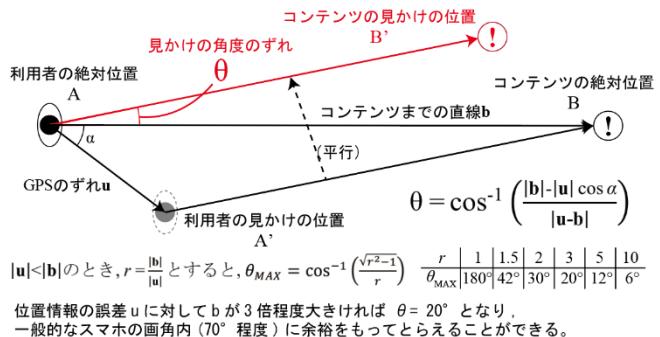


図-2 位置ずれと表示誤差

Fig.2 Position shift and display error

表-2 ARの種類と特徴^{注2)}
Table 2 Types and characteristics of AR

種類	仕組み	特徴	位置情報精度
ロケーションベースAR	GPSおよび方位センサを用いて位置情報に基づいてコンテンツを表示	屋外での広範囲な仕様に適している 位置情報の精度にコンテンツの表示位置の精度が左右される	~5m程度
マーカーベースAR	特定の画像やQRコードなどを認識し、相対位置に基づきコンテンツを表示	ARを表示したい箇所にQRコード等を設置する必要がある QRによって位置精度が非常に高い	~10cm程度
VPS型AR	カメラの画像と地形データの特徴点を照合することで位置を特定し、コンテンツを表示	計算負荷が大きく、webでの実装は少数 事前に地形データを収集しておく必要があるが、GPSのみのロケーション型に比べると高精度で自己位置を推定可能。	~1m程度

そこで本研究では、常に位置ずれの影響が少ない遠方の情報を用いる誘導手法として、矢印や線ではなく点を使った手法を提案する（図-3(a)）。本手法において利用者は、カーブや交差点に数字を表記し色分けされた点（以下、誘導ピン）を順番にたどることで目的地に誘導される（図-3(b)）。この手法の特長は、特定の誘導ピン N に近接した際、次に向かうべき方向を示すのは誘導ピン N ではなく誘導ピン N+1 である点にある。これにより、位置ずれが発生した場合であっても見かけの角度のずれ θ が小さい遠方の情報を用いて誘導が可能となる。また、利用者は数字が表記された誘導ピンを目指して歩くため、ルートを間違えた際にも比較的早い段階で気づくことができる点も誘導ピンを使った特長の一つである。

さらに、事前検討において、次の誘導ピンまでの距離が長い際、画面に表示されるコンテンツが変化しないように知覚され、誘導に不安を感じる場面が見られた。そこで、次の誘導ピンまでの間に5~10m程度の間隔で、次の誘導ピンと同色の小さな目印（以下、補助ピン）を配置することで画面に変化を発生させ、次の誘導ピンに向かっている様子を理解しやすくした。

本手法では各ピンの位置座標および色の情報のみを用いてデバイスに表示することができるため、画像処理を使った他の手法と比べ非常に計算負荷が小さいことも特長である。これにより Web ブラウザでの安定した利用が可能となっており、フェーズフリーでの活用において有用である。

4. 雲仙市における実証実験の概要

4.1 全体概要

第3章で開発した AR を使用し、長崎県雲仙市の雲仙温泉街において観光地を案内する観光支援 AR と、避難誘導 AR の効果を検証する実証実験を行った（表-3）。雲仙温泉街の観光名所である雲仙地獄において声掛けを行い、参加者を募集した。参加者は家族や友人などの31グループで、10代から70代の歩行に支障のない男女であった。各自が所有するスマートフォンを用いて Web ページにアクセスすることで AR を体験した。参加者はまず、観光支援 AR を利用して雲仙地獄内を観光した後、避難誘導 AR を用いた避難誘導実験を行った。観光支援 AR の利用時間には特に制限を設けず、観光に満足した時点で雲仙地獄付近に待機しているスタッフに声をかけていただき、避難誘導 AR に切り替えるという方式をとった。

また、避難誘導 AR の誘導先の施設に到着した後、二つの AR に対するアンケート調査を実施した。AR 利用中は端末毎に割り当てた ID およびその位置情報を10秒ごとにサーバーに保存することで移動経路や滞留時間を取得した。

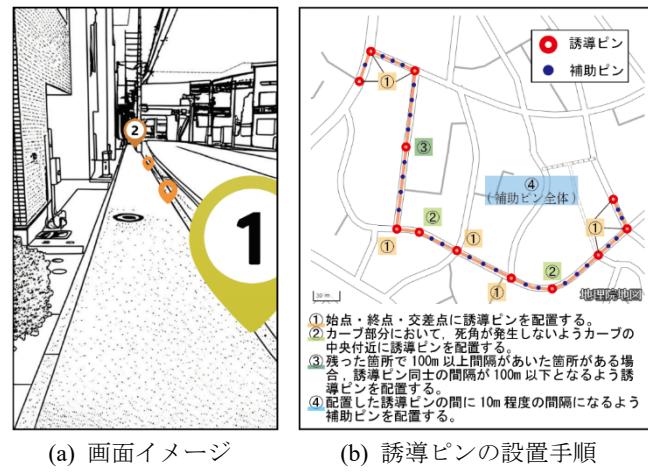


図-3 誘導手法の概要
Fig.3 Overview of guidance methods

表-3 実証実験の全体概要
Table 3 Overview of experiment

実験場所	長崎県雲仙市雲仙温泉街
実験日時	2024年11月4日 10:00 - 15:00
実施内容	WebAR を用いた観光体験 WebAR を用いた避難誘導
参加人数	31 グループ 58名
取得データ	位置情報(10秒ごと)+アンケート調査

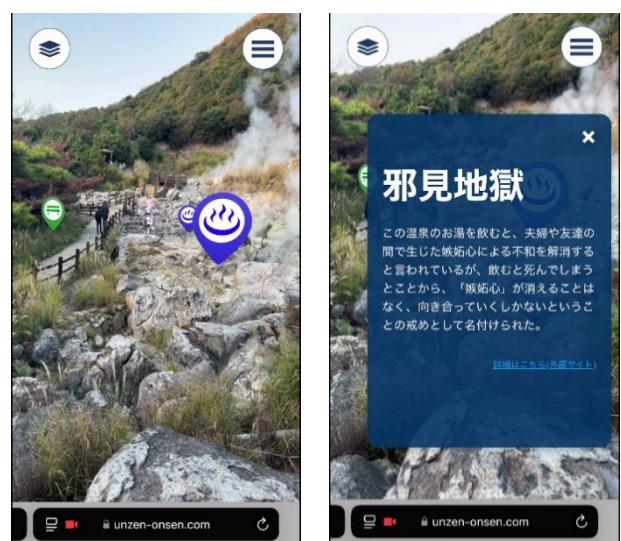


図-4 コンテンツの表示例
Fig.4 Example of content display

4.2 観光支援 AR の設計

観光支援 AR では、観光客の雲仙地獄内での回遊性向上を目的とした Web アプリを開発した。本アプリケーションは雲仙地獄内に各種スポットを設定し、それぞれの位置に携帯端末を通して確認することができるコンテンツを配置した。コンテンツとして、観光スポットには目印となるピンを配置し（図-4(a)）、画面上でタップすることで詳細の説明がポップアップ表示されるよう設計した（図-4(b)）。また、観光スポットが乏しい箇所においては、キャラクターによるAR写真スポットを作成し、回遊性向上を図った（図-5）。雲仙地獄内の名称およびコンテンツ種類ごとの設置位置を図-6に示す。



図-5 AR で表示した文字モニュメント
Fig.5 Text monument using AR



図-6 コンテンツの位置
Fig.6 Contents location

4.3 避難誘導 AR の設計

避難誘導実験では、開発した避難誘導システムの効果を確認するため、清七地獄入口から実際に最寄りの避難所であるやまびこ会館まで、約 500m の誘導を実施

した。実験ルートおよび誘導ピンの配置を図-7 に示す。

参加者には AR を使用した避難誘導実験であることは伝えたが、周囲の状況に注意して歩くよう注意喚起を行ったのみで、目的地は教示せずに実験を行った。



図-7 避難誘導実験ルートおよび誘導ピンの設置位置

Fig.7 Route to refuge and Guide-Pin locations

5. 実験結果と考察

5.1 観光支援 AR

観光支援 AR の利用端末から収集した位置情報をヒートマップとして可視化し、コンテンツの位置と重ね合わせた結果を図-8 に示す。雲仙温泉街の中心街に近く、雲仙地獄の主要な入口となっている清七地獄付近の滞留が最も多く、奥に行くにつれて徐々に少なくなっている様子がわかる。回遊が先細りとなってしまった原因として、観光支援 AR では各スポットにコンテンツを配置したのみであったことが挙げられる。各スポットに自ら近づくことによってはじめて AR コンテンツを楽しむことができるため、コンテンツ間の距離が離れている箇所においては奥にコンテンツがあることが知覚されず、結果として引き返し行動につながったと考えられる。従って、回遊性をより向上させるためには、モデルコースを提案し AR を用いた誘導をするなど、よりアクティブな仕組みが必要であると推察される。

5.2 避難誘導 AR

5.2.1 実験結果

全 31 グループの移動軌跡を図-9(a)に示す。31 グループ中 25 グループが迷うことなく避難所に到着したのに対し、5 グループには迷い行動が見られた。一方、迷い行動が見られたグループについても最終的には自力で避難所に到達していることから、道を間違えた際に利用者が自力で気付き、修正できており、本システムに一定の誘導能力があることが確認できた。

避難の所要時間については迷い行動がなかった 26 グループが 10 分以内に到着しており、避難距離が 500m

であることをふまえるとARシステムが効果的に機能していることがわかる（図9-(b)）。一方、避難完了後のアンケート調査において誘導ピンごとのわかりやすさを問う設問では、⑤の誘導ピンの評価が大きく低下しており（図9-(c)）、交差点での誘導に改善の余地があることが示された。

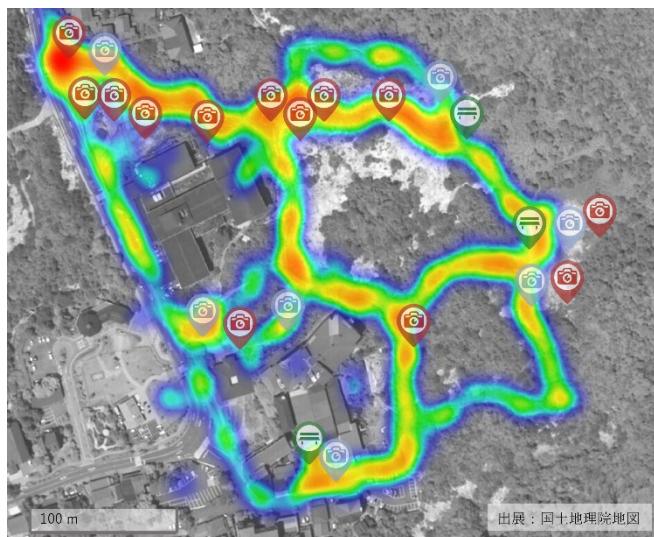


図-8 観光支援 AR 利用者の歩行座標ヒートマップ
Fig.8 Heatmap of walking coordinates for AR users



(a) 参加者の移動軌跡

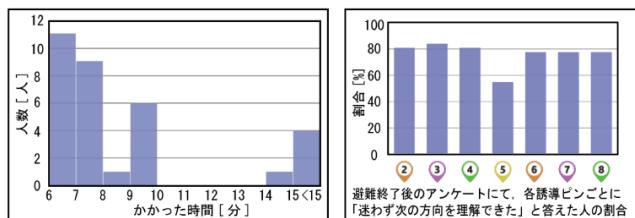


図-9 避難誘導実験結果^{注3)}
Fig.9 Evacuation Guidance Experiment Results

5.2.2 考察

迷い行動が生じた場所における行動特性を明らかにするため、GPS ログより歩行速度の低下を検出し、可視化した（図-10）。ルート上に2つある分岐点である交

差点 X,Y のうち、交差点 X では多くの立ち止まりが見られている一方、交差点 Y では歩行速度の低下はほとんどみられていないことがわかる。これは交差点 X において次に進むべき⑤の誘導ピン以外に奥の⑥や⑦の誘導ピンが見えてしまっていたため、どのピンに向かうべきかが不明瞭となり混乱が生じたためであると考えられる（図-11(a)）。一方、交差点 Y では次に向かうべき誘導ピンがゴールであることから奥に他の誘導ピンが表示されず、交差点 X で発生したような混乱が生じず、結果的に歩行速度の低下が発生しなかったと推察できる（図-11(b)）。

また、交差点以外の誘導ピン近辺でも立ち止まりが確認された。これは、利用者が次の誘導ピンを確認しながら進む際に、直進の場合であっても位置の確認や進行方向の再確認を行っていることを示しており、より円滑な避難を実現するため、誘導ピンの表示方法に關してさらなる検討が必要であることを示唆している。

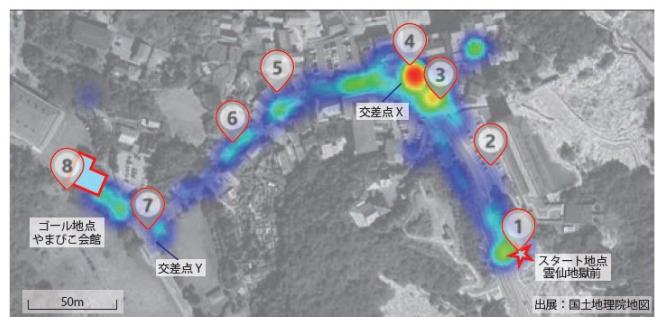
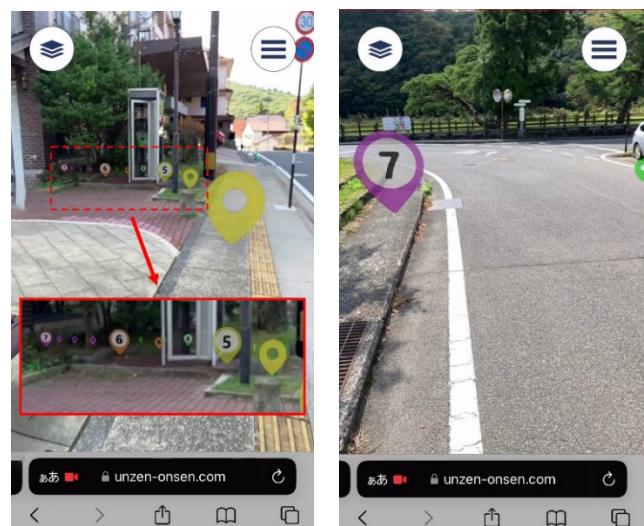


図-10 歩行速度低下位置のヒートマップ^{注4)}
Fig.10 Walking Speed Heatmap



(a) 交差点 X における見え方 (b) 交差点 Y における見え方
図-11 交差点におけるピンの見え方
Fig.11 Visibility of Pins at Intersections

6. まとめ

本研究では、WebAR 技術を活用した避難誘導および観光案内システムを開発し、その実用性を雲仙温泉街での実証実験を通じて検証した。GPS のみを使用した軽量なロケーション型 AR システムにより、従来の方法で課題となっていた精度不足や準備作業の手間を大幅に軽減した。

観光支援 AR の実験では観光地内での回遊性向上へ一定の効果を確認したが、コンテンツ配置に関する課題が浮き彫りとなり、モデルコースの提案など、利用者に対して直接的に回遊行動を促す仕掛けが必要であることが示唆された。一方、避難誘導 AR では、多くの参加者が迷うことなく避難所に到達し、システムの効果的な誘導能力が確認されたが、交差点での誘導に改善の余地があることが明らかになった。

本研究の成果は日常時の観光案内と非常時の避難誘導をシームレスに結びつける「フェーズフリー」なシステム開発の可能性を示している。今後は交差点での誘導改善やコンテンツの配置戦略をさらに検討し、より直感的で効果的な誘導システムの実現を目指す。

謝辞

本実証実験は、長崎県雲仙市観光物産課、一般社団法人雲仙観光局の多大な協力のもと実施した。ここに謝意を記す。

注

- 注1) 文献 5)をもとに表を作成。
- 注2) VPS 型 AR は広義のロケーション型 AR に内包される場合がある。
- 注3) ルートを大きく外れた 1 名の軌跡は省略している。
- 注4) 移動速度が 0.8m/s を下回った場合を歩行低下と定義し、歩行速度低下区間の平均位置を用いて作成した。

参考文献

- 1) 堀江大輔, 勝間亮: ナビゲーション向け AR マーカを利用した位置推定支援, 2018 年度情報処理学会関西支部 支部大会, 2018.
- 2) 田崎隼人, 中島誠: 図書館内 AR ベースナビゲーションシステムにおける ConvNet を用いたユーザ位置推定精度の向上, 2019 年度電気・情報関係学会九州支部連合大会, 2019.
- 3) Brata, K.C.; Funabiki, N.; Panduman, Y.Y.F.; Fajrianti, E.D. : An Enhancement of Outdoor Location-Based Augmented Reality Anchor Precision through VSLAM and Google Street View, Sensors, 2024, 24, 1161.
- 4) 両角信吾, 山崎祥行, 千種康民, 服部泰造: AR を用いた飲食店ナビゲーションシステムの開発, 情報処理学会第 78 回全国大会, 2022.
- 5) 松崎元, 佐藤唯行, 秦康範, 西原利仁, 目黒公郎: フェーズフリーの概念とフェーズフリーデザインへの展開, 日本デザイン学会 デザイン学研究 BULLETIN OF JSSD 2018
- 6) AR.js, GitHub リポジトリ, 取得元: <https://github.com/AR-js-org/AR.js>, アクセス日: 2024 年 7 月 1 日.