

多様な位置・角度からの バリア撮影を促す手法の研究

令和3年度 卒業論文

日本大学 文理学部 情報科学科 宮田研究室

水留 悟

概要

我々の生活空間には、階段や坂などのバリアが数多く存在し、車椅子利用者や高齢者、ベビーカー利用者といった移動弱者の移動を妨げている。移動弱者が移動計画を立てる際にはバリアの種類や位置といったバリア情報が必要であり、バリアの情報を把握する手段のとしてバリアフリーマップが存在する。バリアフリーマップの作成に必要なバリア情報を収集する試みは多数行われている。バリア画像は遠隔地からでも視覚的にバリアの形状や大きさ、周辺の状況を把握できる手段として重要である。しかし、1つのバリアに対して特定の位置・角度のみで撮影されたバリア画像のみであると、移動弱者が取得したいバリアの形状や大きさ、周辺の様子などの情報を把握しにくいという問題点がある。

この問題を解決するために、ユーザに1つのバリアに対して多様な位置・角度から撮影・投稿してもらう必要がある。そこで本研究では、フォトグラフィーゲームとロケーションベースの拡張現実(AR)に着目する。フォトグラフィーゲームには、ユーザが撮影したキャラクターの向きやポーズを評価する事例として Pokémon Snap がある。また、ロケーションベースの AR 技術を利用した有名な事例として Pokémon GO がある。Pokémon Snap などのフォトグラフィーゲームの要素と Pokémon GO や Ingress などの実空間連動型 AR ゲームの要素をバリア画像収集システムに導入することで1つのバリアに対して多様な位置・角度からのバリアの撮影・投稿を促すことが可能であると思われる。本研究では、バリア上に3Dオブジェクトを重畳し、ユーザ・撮影タイミングによって、3Dオブジェクトの向きやポーズが変化する要素を導入したバリア画像収集システムを提案する。提案するバリア画像収集システムを利用して、3Dオブジェクトを映しながらバリアを撮影させることで、1つのバリアに対して多様な位置・角度からのバリアの撮影を促すことを目指す。そこで本研究では、提案システムを利用して1つのバリアに対して複数のアングルからのバリア画像の投稿が得られるようにすることを目指す。検証の結果、提案システムには多様な位置・角度からのバリアの撮影を促す効果があることを確認した。

目次

第1章 序論	1
1.1 研究の背景	2
1.2 研究の目的	2
1.3 本論文の構成	3
第2章 バリア情報収集に関する研究事例・AR 技術に関する研究事例	4
2.1 バリア情報収集に関する研究事例	5
2.1.1 ユーザが現地に赴きバリアを撮影・投稿するアプローチ	5
2.1.2 ストリートビューからバリアを判断するアプローチ	6
2.2 AR 技術に関する研究事例	7
第3章 研究課題	10
3.1 問題の定義	11
3.2 研究課題の設定	11
第4章 提案手法	13
4.1 ロケーションベースの拡張現実 (AR) の導入	14
4.2 要件	14
4.2.1 収集するデータの要件	15
4.2.2 3D モデルのデザインの要件	15
4.3 3D モデルのデザイン	16
第5章 実装	18
5.1 システムの実装状況	19
5.2 システムの全体像	19
第6章 評価実験	20
6.1 実験の目的	21
6.2 実験の条件	22
6.3 実験の手順	22
6.4 実験の結果・考察	22
6.4.1 バリアを撮影した位置・角度	22
6.4.2 アンケート結果	27

第 7 章 結論	29
謝辭	31
参考文献	33
付録	36
研究業績	37

目 次

3.1	既存のバリア画像収集システムで投稿されたバリア画像	12
4.1	コンセプトイメージ	17
4.2	3D モデルのデザイン	17
6.1	画像の投稿数 (単位: 枚, $N = 7$)	23
6.2	階段 1 の撮影例	24
6.3	階段 1 の撮影アングル (単位: 枚, $N = 7$)	24
6.4	階段 2 の撮影例	25
6.5	階段 2 の撮影アングル (単位: 枚, $N = 7$)	25
6.6	階段 3 の撮影例	26
6.7	階段 3 の撮影アングル (単位: 枚, $N = 7$)	26
6.8	Q1. 3D モデルをどの角度から撮影することを意識しましたか (選択, $N = 7$)	27
6.9	Q3. 3D モデルが表示されている状態でバリアを撮影する際, バリアがしっ かり写るように意識しましたか (1: 全くそう思わない~7: とてもそう思う, $N = 7$)	28

表 目 次

5.1 クライアントの環境・アプリケーション	19
6.1 事後アンケート	21

第1章 序論

1.1 研究の背景

我々の生活空間には、車椅子利用者やベビーカー利用者といった移動弱者の円滑な移動を妨げる階段や坂などバリアが数多く存在している。移動弱者は、外出する際の移動においてどのようなバリアがあるのか情報を収集し、事前に移動計画を立てることが多い。移動計画を立てる際には、バリアの位置や種類といったバリア情報が必要であり、バリアの情報を把握する手段としてバリアフリーマップが存在する。バリアフリーマップの作成に必要となるバリア情報を収集する試みは数多く行われている [1][2][3][4][5]。

既存のバリア情報収集には、一般ユーザが現地に赴いて、バリアを撮影・投稿するクラウドソーシング型のアプローチが存在する。クラウドソーシング型のアプローチの特徴として、様々な地域に住むユーザが参加するため、広範囲のバリア情報収集が可能であることが挙げられる。このアプローチを利用して、バリア情報を収集する事例は数多く存在する。例えば、バリア情報を一般ユーザがインターネット上に投稿できるサービスがある [1]。このサービスでは、一般ユーザにバリアを撮影・投稿してもらいバリアが写った写真(バリア画像)を収集している。事例 [1] 以外のバリア情報収集の事例でユーザにバリアを撮影・投稿してもらう手法が用いられている。バリア画像は移動計画を立てる際に遠隔地からでも、取得したいバリアの形状や大きさ、周辺の様子などの情報を把握できる。例えば、収集されたバリア画像を見ることで階段や段差の高さ、階段の段数、手すりの有無などが現地に赴くことなく把握することができ、通行可能か否か判断できる。

既存事例のバリア画像収集では、複数のユーザが1つのバリアに対して撮影・投稿している。また、公式のバリアフリーマップでは未検出のバリア画像が収集されている。しかし、事例 [3] では1つのバリアに対して複数のユーザに撮影させても特定の位置・角度のみで撮影されたバリア画像が収集されている場合がある。1つのバリアに対して特定の位置・角度のみで撮影されたバリア画像のみであると、移動弱者が既存事例のバリアフリーマップを使用し移動計画を立てる際に、取得したいバリアの形状や大きさ、周辺の様子などの情報を把握しきれないおそれがある。

1.2 研究の目的

1.1 節で述べた問題を解決するために、ユーザに1つのバリアに対して多様な位置・角度から撮影・投稿してもらう必要がある。そこで本研究では、フォトグラフィーゲームとロケーションベースの拡張現実 (AR) に着目する。フォトグラフィーゲームには、ユーザが撮影したキャラクターの向きやポーズを評価する事例として Pokémon Snap[6] がある。また、ロケーションベースの AR 技術を利用した有名な事例として Pokémon GO[7] がある。Pokémon Snap などのフォトグラフィーゲームの要素と Pokémon GO や Ingress などの実空間連動型 AR ゲームの要素をバリア画像収集システムに導入することで1つのバリアに対して多様な位置・角度からのバリアの撮影・投稿を促すことが可能であると思われる。本研究では、バリア上に 3D オブジェクトを重ねし、ユーザ・撮影タイミングによって、3D オブジェクトの向きやポーズが変化する要素を導入したバリア画像収集システム

を提案する．提案するバリア画像収集システムを利用して，3D オブジェクトを映しながらバリアを撮影させることで，1つのバリアに対して多様な位置・角度からのバリアの撮影を促すことを目指す．

1.3 本論文の構成

本論文の構成は次のとおりである．2章では，バリア情報収集に関する研究事例と AR 技術に関する研究事例について述べる．3章では，本論文における問題の定義と研究課題について述べる．4章では，本論文における提案手法を述べる．5章では，提案システムの実装について述べる．6章では，提案システムを用いたバリアを撮影する位置・角度に関する評価実験・考察について述べる．最後に7章にて，本論文の結論を述べる．

第2章 バリア情報収集に関する研究事例・AR技術に関する研究事例

本章では、バリア情報収集に関する研究事例・AR技術に関する研究事例について述べる。2.1節では、バリア情報収集に関する研究事例について紹介する。2.2節では、AR技術に関する研究事例について紹介する。

2.1 バリア情報収集に関する研究事例

バリア情報収集の事例を、ユーザが現地に赴きバリアを撮影・投稿するアプローチ、ストリートビューからバリアを判断するアプローチに分別する。2.1.1項では、ユーザが現地に赴きバリアを撮影・投稿する事例、2.1.2項では、ストリートビューからバリアを判断する事例を紹介する。

2.1.1 ユーザが現地に赴きバリアを撮影・投稿するアプローチ

ユーザが現地に赴きバリアを撮影・投稿するアプローチとしては、車椅子利用者や一般ユーザが現地に赴きバリア画像を撮影・投稿する事例が存在する。

Wheelog![1] は、車椅子利用者向けに設計されたバリアフリー情報共有プラットフォームである。Wheelog!はユーザが自身の移動体験を基にバリア情報を投稿できる。車椅子利用者は、実際に走行したルートや、利用した店舗や施設についてのバリア情報の写真を説明をタグ付けして投稿することができる。また、特定の場所や施設に関して、他のユーザにバリアフリー状況をリクエストすることが可能である。

Wheelmap[8] は、車椅子利用者やその支援者むけに、バリアフリーな場所や施設に関する情報を提供・共有するためのオンラインプラットフォームである。ユーザは、世界中の公共施設や商業施設、店舗などに対して、車椅子でのアクセス状況を「トラフィックライトシステム」と呼ばれる信号の色(緑色、黄色、赤色)を使用して評価することができる。緑色は車椅子でのアクセス可能な場所、黄色は部分的にアクセス可能な場所、赤色はアクセス不可能な場所を示している。また、写真や具体的な説明を添えて、施設のバリアフリー設備や問題点を詳細に記録することができる。Wheelmap は、32言語に対応しており、オープンソースの地図である OpenStreetMap をベースにしているため、世界中のユーザが参加可能である。

SeeClickFix[9] は、ユーザが街の問題を報告できるオンラインサービスであり、歩道のひび割れ、道路の損傷、不法投棄、照明の故障など、日常生活における様々な問題を報告できる。ユーザは、問題に関する詳細な説明、写真、位置情報を投稿することで、自治体や公共機関に問題を通知する仕組みを提供している。投稿された問題は自治体に共有され、自治体に問題解決への対応を促すことができる。また、他のユーザも投稿された問題を閲覧でき、状況についてのコメントや解決策の議論をすることが可能である。SeeClickFix は、これまでに 500 万件以上の街の問題が報告され、その内 90%が解決されている。

IBM Sidewalks[10] は、都市のアクセシビリティに関する問題を収集し、共有するためのクラウドソーシング型プラットフォームである。路面の窪みや段差、歩道の障害物と

いったアクセシビリティの問題を、ユーザは種類や程度、物理的なサイズ、位置情報などの詳細をタグ付けし、写真を添えて報告できる。ユーザによって収集されたデータは、地図上にプロットされ、都市の管理者や自治体がアクセシビリティの問題を把握し、解決策を検討するためのツールとして利用される。

BScanner[2][11][12] は、ユーザの多様なモチベーション・可処分時間を考慮したバリアフリーマップ構築プラットフォームである。BScannerの一部には、ユーザが階段や坂、段差などのバリア情報を種類や位置情報をタグ付けし、写真を投稿できる「Reporter」、 「Gaming Reporter」がある。事例[3]では、シンプルなバリア画像収集アプリ「Reporter」とモンスターを集めるゲーム要素を組み込んだ「Gameing Reporter」を用いて、モチベーションや忙しさがデータ収集に与える影響を調査している。実験は、50日間にわたり日本大学文理学部内キャンパスで行われた。結果として、忙しい学生でもゲーム要素を取り入れたシステムを使用することで、より多くのデータを収集することが確認できた。また、モチベーションが低い学生でも、ゲーム要素がある場合には、モチベーションの高い学生と同様の量のデータを収集していることが示された。

2.1.2 ストリートビューからバリアを判断するアプローチ

Google Street View(以降、GSV)を用いた街の調査の有効性を評価している事例がある。

事例[13]は、GSVをした仮想監査が物理的監査に変わり得るかを検討している。この事例では、調査員が現地に赴いて行う物理的な監査と、GSVを用いた仮想的な監査の比較実験を行っている。調査はニュージーランドのオークランドにある4つの地域で行われた実験では、仮想的な調査の方が短時間で完了することが示された。さらに、徒歩や自転車の利用に関する評価において、仮想監査が物理的監査と同等の精度を示した。特に固定された交通インフラや街路景観において高い一致度が確認された。また、仮想監査はコスト削減の点でも優れていることが示された。

事例[14]は、GSVを使用して、近隣環境を遠隔で監査する方法を評価している。この事例では、現地調査によって収集されたデータとGSVによって収集データを比較し、一致度を分析している。データはニューヨーク市内の美観、物理的な荒廃、歩行者の安全性、自動車の交通量と駐車場、自転車や歩行での移動のためのインフラ、歩道の快適性、社会的・商業的活動の7つの近隣環境を構成する要素に関するものである。GSVとフィールド調査で比較した結果、歩行者の安全性や自転車や歩行での移動のためのインフラの要素で高い一致率が得られたが、物理的な荒廃などの要素においては精度が低下したことが分かっている。

GSVを用いて、ユーザが遠隔地から街のアクセシビリティに関する情報を収集する事例が存在する。

事例[4]では、GSVを活用して遠隔して歩道のアクセシビリティ問題を報告することができるクラウドソーシングシステム Project Sidewalk が紹介されている。このシステムでは、ユーザがGSVを用いて歩道のバリアを視覚的に確認し、問題を報告できるインターフェースが提供されている。システムにはインタラクティブなチュートリアルが組み込ま

れており、ユーザがアクセシビリティの概念を学べる。また、ミッションベースのタスクや進捗状況を表示するダッシュボードを活用してユーザの継続的な参加を促進する設計となっている。18ヵ月に渡る実験結果では、報酬有りワーカーが最も多くの問題を迅速に報告し、ボランティアワーカーも高い参加率を示した。また、自治体職員や障害者、介護者へのインタビューを通じて、システムの価値や改善点が明らかにされた。

事例 [5] では、コンピュータビジョン技術とクラウドソーシングを組み合わせたシステムを用いて、GSV 画像からカーブランプを半自動的に検出する手法が提案されている。この研究では、北米の4都市で GSV 画像を利用した調査が行われ、物理的調査と GSV を使用した仮想調査との一致度が検証された。検証の結果、物理的調査と仮想調査で得られるデータの一致率が高いことが確認され、GSV がカーブランプの検出において信頼できるデータソースであることが示された。さらに、コンピュータビジョン技術を使用したシステムでは、カーブランプの 67%を検出可能であり、人間の労力を 13%削減できることが確認された。

事例 [15] では、Deep Learning 技術を活用して GSV 画像から歩道のアクセシビリティ問題を自動的に検出する方法が提案されている。Project Sidewalk[5] によってラベル付けされた 30 万以上の画像データを用いて、ResNet を基盤とする CNN モデルが構築された。このモデルは、GSV から切り出した画像、アクセシビリティ問題が存在する画像内での位置、画像の地理的な位置情報を特徴量として使用している。この結果、構築されたモデルは、既存のシステムよりも高精度でアクセシビリティ問題を検出し、一部のケースでは人間によるラベル付けを超える精度を達成したことが示された。

2.2 AR 技術に関する研究事例

「AR」とは、「Augmented Reality」の略称で、「拡張現実」を意味する。AR は、ローケーションベース AR、ビジョンベース AR が存在する [16]。本研究では、ローケーションベース AR を使用する。ローケーションベース AR を使用した研究事例は数多く存在する。

ローケーションベース AR を利用した有名な事例として、Pokemon GO[7] がある。Pokemon GO は、AR 技術を利用して現実世界にモンスターを出現させる位置情報ゲームである。ユーザはスマートフォンを通じて、実際の場所を歩き回りながらモンスターを探し、捕まえることができる。ユーザが移動すると、ゲーム内でも新しいモンスターが出現し、様々なスポットを探索することが促進される。Pokemon GO は、健康促進や観光地の活性化にも寄与しており、全世界で数億人がプレーする人気ゲームである。

事例 [17] は、モバイルデバイスや組み込み機器で動作可能な、ネットワークに依存しない堅牢で高速なマーカー不要の拡張現実 (AR) システムを開発し、地理的可視化とインタラクションの向上を実現することを目的としている。深層学習に基づく物体検出技術を用い、屋外環境における正確な位置登録と視覚化を目指している。この事例では、SSD (Single Shot Multibox Detector) という軽量かつ高精度な物体検出アルゴリズムを採用している。SSD は、リアルタイムの物体検出が可能なモデルであり、特にマーカー不要の拡張現実で利用されることが多い。しかし、SSD の高い計算コストはモバイルデバイス

では処理が重いため、SSDの構造を軽量化し、計算コストを削減した「lightweight SSD」を提案している。モバイルデバイスのカメラで取得した映像から深層学習モデル(SSD)で物体を検出し、その結果をGPSや慣性計測装置(IMU)、磁気センサーのデータと結合して、正確な位置登録を行っている。武漢大学のキャンパス内にある異なる地理的オブジェクト10個を対象に選定し、これらのオブジェクトの検出精度や可視化の安定性を評価した。その結果、高精度な物体検出と地理的情報の正確な可視化を実現し、屋外環境における安定したパフォーマンスを示した。軽量化されたSSDはモバイルデバイス上でもリアルタイムに近い速度で動作し、複数オブジェクトが同時に検出された場合でも、正確に空間的に整列された仮想オブジェクトを表示できることを明らかにした。

AR技術を文化遺産の教育に導入する事例が存在する。

事例[18]は、文化遺産教育のための位置情報ベースの拡張現実(AR)アプリケーションの開発に焦点を当て、先史時代の湖岸集落ディスピリオの教育的なゲーム化されたARアプリケーションを紹介している。このアプリケーションでは、ストーリーテリングとゲーミフィケーション要素を利用し、考古学的遺産への教育的訪問をよりインタラクティブな体験に変えることを目的としている。大学生71名と小学生58名を対象に予備評価を実装した結果、使いやすさ、満足度、教育的有用性において高い評価を得た。ストーリーテリングやゲーミフィケーションの要素が、学習者のモチベーションを高め、実際の遺跡を探索する体験が学びを深めるための有効な手段であることが示された。

事例[19]は、ギリシャのカストリアにあるドルツォ地区を題材に、文化遺産の保護と教育を促進するための位置情報ベースの拡張現実(AR)アプリケーションを開発・評価することを目的としている。このアプリケーションは、ドルツォ地区の主要な文化遺産のスポットにAR技術を導入し、訪問者が指定された地点に到達すると、歴史的技術や建築物の詳細などが表示される仕組みである。また、Google Earthを用いた仮想ツアーとも連携し、学習内容の定着を図っている。309名の学生がアプリケーションを使用して、チャレンジ性、教育的有用性、協力性、再利用意図などの要素を含む評価を行った。その結果、チャレンジ性は教育的有用性に大きな影響を与え、インタラクションの増加が学習の有用性を高めることが示されました。

Unlocking Port[20]は、位置情報ベースの拡張現実(AR)アプリケーションによって、観光客が都市の文化遺産や重要地点を没入型のゲーム形式で探索できるようにすることを目的としている。ポルト市を舞台にしており、プレイヤーはラベロ船の船頭役を勤めながら、仮想のワイン樽を集め、ポルトガルの歴史を学ぶゲームである。AR技術や位置情報ベースのクイズ、ミニゲームを組み合わせ、観光地の探索と教育的体験を提供している。Unlocking Portは、Unity3Dプラットフォームで開発され、スマートフォンのセンサーを活用してプレイヤーの位置を追跡している。地図やARによるガイド付きツアーの形式で観光体験が行われ、クイズやミニゲームで知識を深めることができる。今後の改善としてユーザビリティテストや評価が必要であることが指摘されている。

事例[21]は、ギリシャのクレタ島にある歴史的なハニア旧市街を対象とし、文化遺産の保護と観光を目的としたモバイル拡張現実(AR)ガイドシステムのソフトウェアアーキテクチャを提案している。このシステムは、訪問者がスマートフォンを利用して歴史的

な建物や場所を視覚化し、その文化的・歴史的な背景を理解できるようにすることを目的としている。過去の建築物の3DモデルをARで重ねて表示する機能を通じ、訪問者が歴史を「体感」できる体験を提供している。このアプリケーションは、ハニアのヴェネツィア地区を歩きながら、歴史的建物に関する情報をテキストや画像とともに提供している。さらに、ゲーム要素を取り入れてユーザーを動機づけ、ポイントを獲得しながら興味のあるポイントを探索できる仕組みが導入されている。現実世界に過去の建物の3Dモデルを重ねて表示する機能があり、ユーザがその場所を歩きながら過去の状態を体験できる設計である。この事例では、システムの有効性と技術的な実現性を評価している。システムを使用した訪問者からは、過去の建築物を視覚的に再現することで、文化遺産の理解が深まり、現地訪問の価値が向上するとのフィードバックが得られた。

第3章 研究課題

本章では、本研究における問題の定義と研究課題について述べる。

3.1 問題の定義

我々の生活空間には、車椅子利用者やベビーカー利用者といった移動弱者の円滑な移動を妨げる階段や坂などバリアが数多く存在している。移動弱者は、外出する際の移動においてどのようなバリアがあるのか情報を収集し、事前に移動計画を立てることが多い。移動計画を立てる際には、バリアの位置や種類といったバリア情報を利用する。バリアの情報を把握する手段としてバリアフリーマップが存在する。このため、バリア情報を収集することは移動弱者にとって重要であり、バリア情報を収集する試みは数多く行われている。

既存のバリア情報収集には、専門の調査員が現地に赴いて収集するアプローチと、一般ユーザが現地に赴いて収集するクラウドソーシング型のアプローチが存在する。専門の調査員が現地に赴いて収集するアプローチの特徴として、正確で詳細なバリア情報を収集することができるが、調査員数が限られているためバリア情報の収集範囲が限定的であることが挙げられる。それに対して、クラウドソーシング型のアプローチの特徴は、様々な地域に住むユーザが参加するため、広範囲のバリア情報収集が可能である。加えて、ユーザによってバリア情報を収集するタイミングが様々であるため、比較的バリア情報の鮮度が高いことが挙げられる。クラウドソーシング型のアプローチを利用して、バリア情報を収集する事例は数多く存在する [1][2][3]。これらの事例では、一般ユーザにバリアを撮影・投稿させることで、バリア画像を収集している。

しかし、事例 [3] では図 3.1 のように 1 つのバリアに対して複数のユーザに撮影させても特定の位置・角度のみで撮影されたバリア画像が収集されている場合がある。1 つのバリアに対して特定の位置・角度のみで撮影されたバリア画像のみであると、移動弱者が取得したいバリアの形状や大きさ、周辺の様子などの情報を把握しにくいという問題点がある。この問題点によって、移動弱者が既存事例のバリアフリーマップを利用して移動計画を立てると、通行不可能のバリアに遭遇し立ち往生する恐れがある。

3.2 研究課題の設定

3.1 節で述べたように、既存のバリア画像収集システムでは、1 つのバリアに対して 1 つのバリアに対して複数のユーザに撮影させても特定の位置・角度のみで撮影されたバリア画像が収集されている場合があるため、移動弱者が既存事例のバリアフリーマップを使用し移動計画を立てる際に、取得したいバリアの形状や大きさ、周辺の様子などの情報を把握しきれないおそれがある。この問題を解決するためには、ユーザに 1 つのバリアに対して多様な位置・角度から撮影・投稿してもらう必要があると考える。ユーザに 1 つのバリアに対して多様な位置・角度から撮影・投稿してもらうことができれば、移動弱者が移動計画を立てる際に、取得したいバリアの形状や大きさ、周辺の様子などの情報を把握しやすくなり、通行不可能なバリアに遭遇して立ち往生してしまうことを防ぐことができると

考える。上記を踏まえ，本研究ではユーザに1つのバリアに対して多様な位置・角度からバリアを撮影させることを研究課題として設定する。



図 3.1: 既存のバリア画像収集システムで投稿されたバリア画像

第4章 提案手法

本章では、本論文における提案手法を述べる。

4.1 ロケーションベースの拡張現実 (AR) の導入

3.2 節で定義した研究課題を達成するために、本研究ではキャラクターのポーズや向きがあることでユーザが撮影したくなる位置・角度が多様化すると考える。ユーザが撮影したキャラクターのポーズや向きを評価する事例として Pokémon Snap[6] がある。Pokémon Snap は、非現実空間上に隠れているモンスターを発見し、自然な姿や特別な瞬間をカメラに収め、図鑑を埋めていくことを目的としたインゲームフォトグラフィである。モンスターを撮影することでポイントを獲得することができる。ポイントは、モンスターのポーズ、向き、背景などによってスコアリングされる。インゲームフォトグラフィの要素をバリア画像システムに取り入れることで多様な位置角度からのバリアの撮影を促すことが可能であると考えられる。

バリア画像収集システムにインゲームフォトグラフィの要素を取り入れる手段としてロケーションベースの拡張現実 (AR) に着目する。AR とは、現実世界にデジタルの仮想情報を重ねて表示する技術である [22]。ロケーションベースの AR を利用した有名な事例として、Pokémon GO [7] がある。Pokémon GO は、AR 技術を利用して実空間にモンスターを出現させる位置情報ゲームである。ユーザは実空間を歩き回りながらスマートフォンを通じて、モンスターを探し、捕まえることができる。ユーザは、AR 技術を用いて実空間に重畳されたモンスターを撮影して遊ぶことができる。Pokémon GO や Ingress などの実空間連動型 AR ゲームの要素と Pokémon Snap などのインゲームフォトグラフィの要素を取り入れることで1つのバリアに対して多様な位置・角度からのバリアの撮影・投稿を促すことが可能であると思われる。このことから、バリア上に向きやポーズが変化する3D オブジェクトを重畳し、3D オブジェクトを映しながらバリアを撮影させることで、1つのバリアに対して多様な位置・角度からのバリア画像が得られることが期待される。上記をふまえ、図 4.1 のようにバリア上に3D オブジェクトを重畳し、ユーザ・撮影タイミングによって、3D オブジェクトの向きやポーズが変化する要素を導入したバリア画像収集システムを提案する。

4.2 要件

提案システムは、バリアフリーマップを作成するために利用するバリア画像を収集することを目的としている。そのため、バリア画像を収集する際、バリアを正確に検出する必要がある。また、バリア上に3D モデルを重畳させることで、1つのバリアに対して多様な位置・角度からのバリア画像が得られるようにするために3D モデルのデザインを選定する必要がある。このことから、提案システムが満たすべき要件を収集するデータの要件と3D モデルのデザインの要件に分けて整理する。

4.2.1 収集するデータの要件

収集するデータは次の要件を満たすべきであるとする。

DR1 現地で撮影されたバリア画像である

DR2 バリアフリーマップを利用する人がバリアを正確に認識できるバリア画像である

DR3 広範囲で収集されたバリア画像である

DR4 収集されたバリア画像の情報が最新である

DR1 は、位置情報を画像にタグ付けして、撮影されたバリアがどこにあるかを知るために必要である。位置情報が埋め込まれていないバリア画像であると、どこに存在するバリアであるか把握することができずバリアフリーマップ上に情報を反映させることができない。このため、DR1 を満たすことは重要であるとする。DR2 は、収集されたバリア画像はバリアフリーマップ上に表示するものであり、バリアを正確に把握できるようにするために必要である。収集したバリア画像から情報を把握することができなければ、移動弱者が遠隔地からバリアの大きさや形状、周辺の様子などの情報を把握しにくくなってしまふ。このため、DR2 を満たすことが重要であるとする。DR3 は、広範囲のバリア画像を収集することができれば、未検出のバリアを減らすことができるため必要である。未検出のバリアがあると、移動弱者が移動計画を立てる際にバリアに遭遇して立ち往生してしまう可能性がある。未検出のバリアを減らし、安心して移動計画を立てやすくするために DR3 を満たすことは重要であるとする。DR4 は、バリア情報の中には工事で通行不可能になるなど一時的なものが存在する。そのため、バリアフリーマップを最新の状態で保つ必要がある。移動弱者が古い情報を元に移動計画を立ててしまうと、一時的に存在するバリアに遭遇したり、存在しないバリアを避けて遠回りしてしまう可能性がある。移動弱者が間違った情報を利用して移動計画を立てないようにするために、DR4 を満たすことは重要であるとする。

4.2.2 3D モデルのデザインの要件

3D モデルは次の要件を満たすべきであるとする。

MR1 正面と背面が区別できるデザインである

MR2 ユーザによって好みが変わらないデザインである

MR1 は、キャラクターの向きやポーズがあることでユーザが撮影したくなる位置・角度が多様化すると考えることから、3D モデルの向きがわかるように正面と背面が区別できるデザインにすることは必要である。3D モデルの正面と背面が区別できないとユーザに多様な位置・角度からの撮影を促すことができず、特定の位置・角度からのバリア画像が収集されてしまうため MR1 の要件を満たすことは重要であるとする。MR2 は、多くの

ユーザに多様な位置・角度からのバリアを撮影を促すために必要であるユーザが好みではない3Dモデルのデザインであると、3Dモデルを多様な位置・角度から撮影したいと思う度合いが低下し、特定の位置・角度からのバリア画像が収集されてしまう可能性がある。特定の位置・角度からのバリア画像が収集されてしまうと、移動弱者が取得したいバリアの形状や大きさ、周辺の様子などの情報を把握しきれない恐れがある。このことから、MR2の要件を満たすことは重要であると考ええる。

4.3 3Dモデルのデザイン

4.2.2節で述べた要件に基づいて、3Dモデルのデザインを考える

MD1 動物や人間、妖精などのデザイン

MD2 性別が無いデザイン

MD3 シンプルなデザイン

MD1はMR1を満たすためのデザインであり、植物や食べ物などのデザインより正面と背面の区別がつきやすく、ユーザが撮影したくなる位置・角度が多様化すると考える。MD2はMR2を満たすためのデザインであり、女性や男性などの性別があるキャラクターを用いると撮影を行うユーザの好みが変われると考える。このことから性別が無いキャラクターである必要があると考える。MD3はMR2を満たすためのデザインであり、キャラクターがリアル過ぎると撮影するユーザの好みが変われると考える。このことから特徴が少ない可能な限りシンプルなデザインである必要があると考える。また、3Dモデルをバリア上に重畳させる際に、スマートフォンのGPSで取得する位置情報を利用する。GPSは人工衛星を使用して現在位置を測位するため、位置情報の誤差が出る場合がある。位置情報の誤差により3Dモデルがバリアや壁にめり込む、浮いてしまう問題がある。これらの問題が起こった場合に不自然にならないデザインにする必要がある。これら全ての要件を満たすデザインとして図4.2のゴーストを考案する。



図 4.1: コンセプトイメージ



図 4.2: 3D モデルのデザイン

第5章 実装

本章では、提案システムの実装について述べる。5.1節で4.2.1節で述べた収集するデータの要件を満たす提案システムの実装状況を、5.2節で提案システムの全体像を、4.3節で4.2.2節で述べた3Dモデルのデザインの要件を満たす3Dモデルのデザインを説明する。

5.1 システムの実装状況

4.2.1節で述べた収集するデータの要件をもとに提案システムの開発を進め、現在は、サーバを使用せず、Android端末内に画像を保存している。以下は今後の実装予定である。

DR1は、システム内のカメラで撮影された画像のみを投稿できるようにする予定である。システム内のカメラで撮影したバリア画像と共に撮影した地点の位置情報をサーバーに送信するこれにより、現地で撮影されたバリア画像をバリアフリーマップ上に反映させることができる。

DR2は、投稿された画像に写ったバリアの種類を先行研究[3]で用いているCNNを用いて推定し、分類されたクラスの推定確率が閾値未満である場合はバリアフリーマップに撮影したバリア画像を反映しないことで実現する予定である。CNNのモデルを構築できるだけの学習データを収集する必要があるため、CNNで推定するバリアは我々の身の回りに多く存在する段差・階段・坂の3種類としている。これにより、ユーザは段差・階段・坂のいずれも写っていない画像や物に隠れていたり見切れたりしてバリアの様子が不明瞭な画像を投稿しても、バリアフリーマップ上に反映されず移動弱者が遠隔地からバリアの形状や大きさ、周辺の様子などの情報を把握しにくくなることを防ぐことが可能である。

DR3, DR4の実現方法は検討中である。

5.2 システムの全体像

提案システムは、クライアントのみで実装する。クライアントにはAndroidスマートフォンを利用する。クライアント環境・アプリケーションを表5.1に示す。

提案システムは、UnityのAssetsであるAR + GPS Locationを用いる。あらかじめ保存されたバリアが存在する位置座標に3Dモデルを重畳させる。アプリケーション起動時、写真の投稿後にユーザごとに3Dモデルの向きを360度内でランダムに変更させる。ユーザに写真を撮影・投稿する機能を提供する。

表 5.1: クライアントの環境・アプリケーション

項目	クライアント
OS	AndroidOS(バージョン 13.0 以上)
使用言語	C#

第6章 評価実験

本章では、提案システムを用いたバリア画像収集のバリアを撮影する位置・角度に関する評価実験について述べる。6.1節で実験の目的を、6.2節で実験の条件を、6.3節で実験の手順を、6.4節で実験の結果と考察を述べる。

6.1 実験の目的

提案システムでは、1つのバリアに対して多様な位置・角度から撮影されたバリア画像の投稿を得られることを目的としている。このため、提案システムが1つのバリアに対して多様な位置・角度からのバリアの撮影を促すのに有効であるか検証する必要がある。そこで、提案システムの1つのバリアに対して多様な位置・角度からのバリアの撮影を促す有効性を検証するため、本研究では次の提案手法を用いた実験を行う。

提案手法 バリア上に3Dオブジェクトを重ねし、ユーザ・撮影タイミングによって3Dオブジェクトの向き・ポーズが変化する。

提案システムを用いて、バリアを撮影する位置・角度に与える影響を調査する。これにより、バリア上に3Dオブジェクトを重ねし、ユーザ・撮影タイミングによって3Dオブジェクトの向き・ポーズが変化する要素が、1つのバリアに対して多様な位置・角度からのバリアの撮影を促すのに有効であるか評価する。

評価指標として、バリアを撮影した位置・角度、バリアを多様な位置・角度から撮影したいと感じた度合いを用いる。バリアを撮影した位置・角度は、ユーザによって撮影された3Dモデルがどの向きから撮影されているかを調査し、3Dモデルが正面から撮影されている傾向が確認できれば、1つのバリアに対して多様な位置・角度からのバリアの撮影を促す有効性を示すことができると考える。バリアを多様な位置・角度から撮影したいと感じた度合いは、アンケートから評価する。アンケートの回答から、バリアを多様な位置・角度から撮影したいと感じた度合いが有意に高ければ、1つのバリアに対して多様な位置・角度からのバリアの撮影を促す有効性を示すことができると考える。

アンケートは実験後に回答する事後アンケートを用意する。事後アンケートの質問項目を表6.1に示す。Q1とQ2は3Dモデルの撮影の仕方についての質問である。Q3は3Dモデルを映しながらバリアを撮影することにより、バリアフリーマップを利用する人がバリアを正確に認識できるバリア画像を収集することに影響を与えているか確認するための質問である。

表 6.1: 事後アンケート

項目	質問事項	形式
Q1	3Dモデルをどの角度から撮影することを意識しましたか	選択
Q2	3Dモデルの撮り方を工夫した方は、具体的にどのように工夫しましたか	自由記述
Q3	3Dモデルが表示されている状態でバリアを撮影する際、バリアがしっかり写るように意識しましたか	7段階リッカート尺度

6.2 実験の条件

実験には20代の学生7名が参加した。実験参加者は全員が男性かつ健常者である。実験参加者には提案手法が実装されたアプリケーションを利用してバリア画像収集を行ってもらった。実験場所は日本大学文理学部キャンパス内で行った。実験時間は30分程度で行った。本実験では、実験参加者に指定した3箇所のバリアを撮影・投稿するよう指示した。指定した3箇所のバリアは、実験場所を日本大学文理学部キャンパス内に限定しているため、坂と段差が十分に存在しないことから、階段のみを指定した。アプリケーション利用方法と指定したバリアの確認方法は、実験開始前に資料を配布し確認してもらった。

6.3 実験の手順

実験は下記の手順で行う。

Step1 実験者は実験参加者にアプリの取り扱い説明書と撮影するバリアの位置・画像が記載されているマップを配布する。

Step2 実験者は提案手法のシステムを使用してバリアが写るように撮影してくださいと教示する。

Step3 実験参加者は指定されたバリアの場所に赴く。

Step4 実験参加者はバリアを撮影する

Step5 実験参加者は実験終了後に実験後アンケートに回答する。

6.4 実験の結果・考察

6.4.1 項ではバリアを撮影した位置・角度についての結果・考察を述べ、6.4.2 項ではアンケートの結果・考察について述べる。

6.4.1 バリアを撮影した位置・角度

バリア画像の投稿数を図6.1に示す。投稿数の合計は36枚であった。7名中3名が複数枚の画像を投稿していた。また、階段1の撮影枚数が他の階段の撮影枚数に比べ少ないことがわかった。階段1の撮影例を図6.2に、撮影アングルを図6.3に示す。6.3から、階段1は3Dモデルを背面から撮る傾向があることがわかった。また、図6.2から3Dモデルの向きに関係なく階段を正面から撮影されていたことがわかった。階段2の撮影例を図6.4に、撮影アングルを図6.5に示す。図6.5から、階段2は3Dモデルを正面から撮る傾向があることがわかった。また、図6.4からバリアを多様な位置・角度から撮影されているこ

とがわかった。階段3の撮影例を図6.6に、撮影アングルを図6.7に示す。図6.7から、階段3は3Dモデルを正面から撮る傾向があることがわかった。また、図6.6からバリアを多様な位置・角度から撮影されていることがわかった。

バリア画像の投稿数について、7名中3名が複数枚の画像を投稿していたことから、3Dモデルをバリア上に重畳することで多様な位置・角度からのバリアの撮影を促すだけでなく、ユーザ1名から1つのバリアに対して複数枚のバリア画像を収集できる可能性があると考えられる。図6.6から、3Dモデルを写すために近距離で撮影するユーザ、バリア全体を写すために3Dモデルを遠距離から撮影するユーザが存在することがわかった。このことから、バリア上に3Dモデルを重畳することによって、3Dモデルの向きを変化させるだけではなく、3Dモデルの大きさを変化させることでも多様な位置・角度からのバリアの撮影を促すことができると考える。階段1が他の階段と比べ3Dモデルを背面から撮る傾向にあり、3Dモデルの向きに関係なく階段を正面から撮影されていたことから、階段の段数、両側に壁があることが原因であることが考えられる。このことから、撮影するバリアの個数を増加し階段の段数、側面に壁があることが多様な位置・角度の撮影を促すことに影響するか検証する必要があると考える。

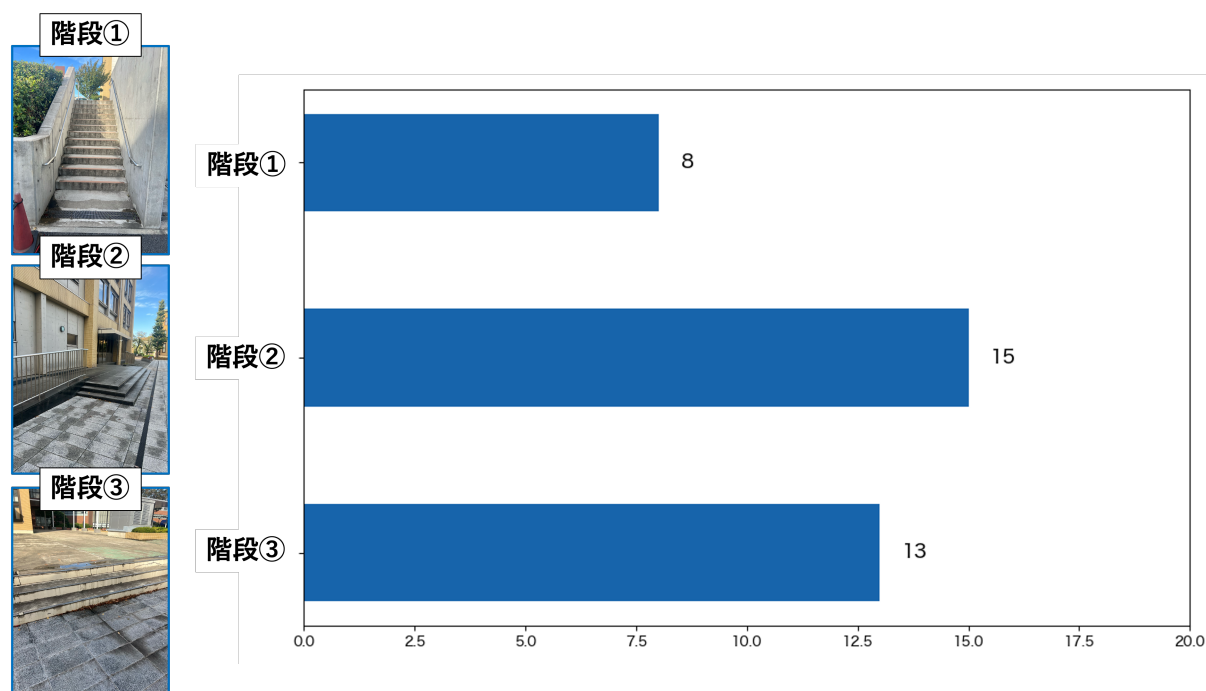


図 6.1: 画像の投稿数 (単位：枚, $N = 7$)



図 6.2: 階段1の撮影例

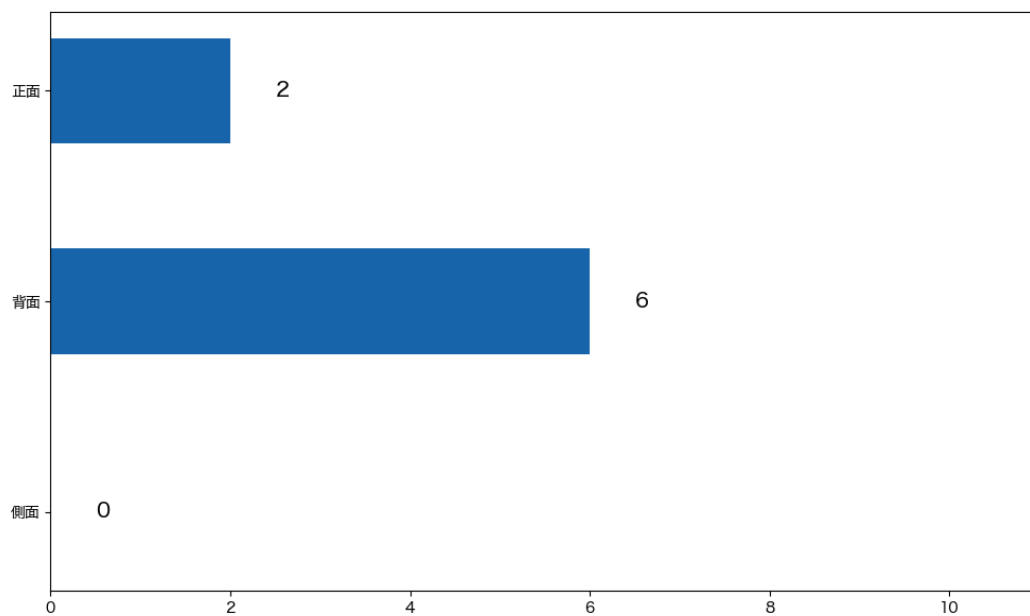
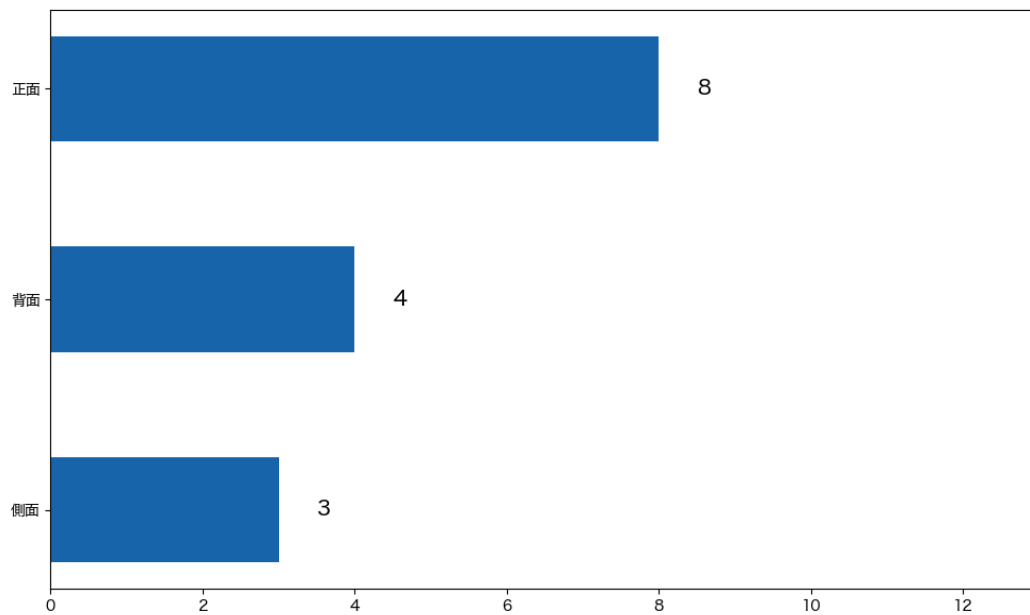
図 6.3: 階段1の撮影アングル(単位:枚, $N = 7$)



図 6.4: 階段 2 の撮影例

図 6.5: 階段 2 の撮影アングル (単位：枚, $N = 7$)

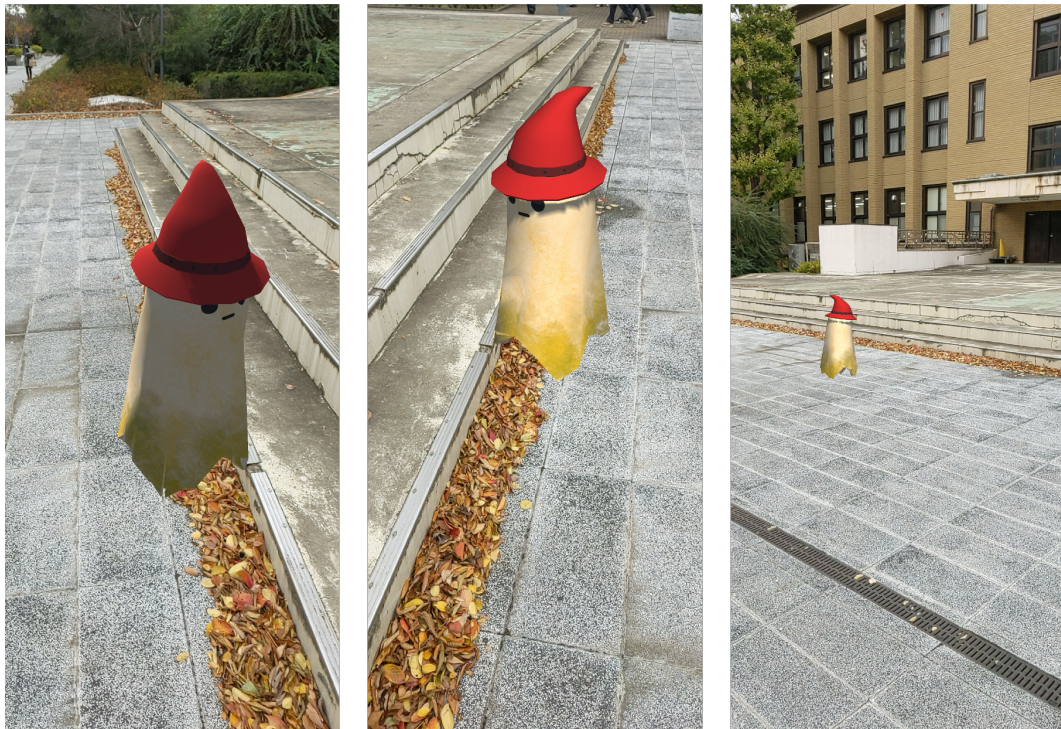


図 6.6: 階段3の撮影例

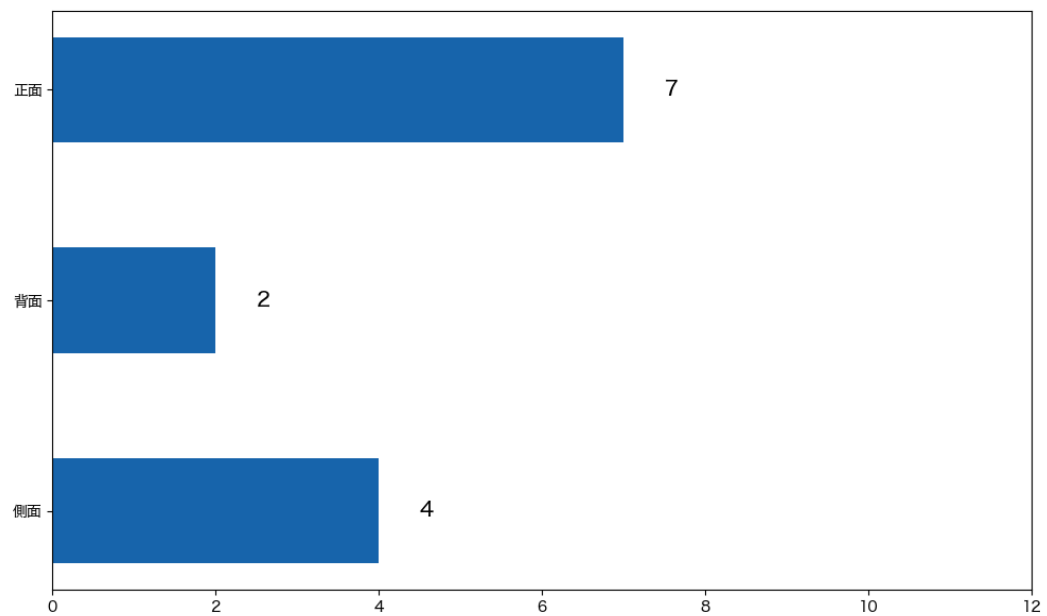


図 6.7: 階段3の撮影アングル(単位:枚, N = 7)

6.4.2 アンケート結果

Q1, Q3の回答結果を図6.8, 6.9に示す. Q1に対して, 7名中4名が3Dモデルを正面から撮ることを意識していた. このことから, 提案手法を利用することで, 3Dモデルを正面から撮影することで多様な位置・角度からのバリアの撮影を促すことができることがわかった. しかし, 7名中4名が3Dモデルを正面から撮ることを意識していたと回答したが, その内2名が3Dモデルを背面から撮影していた. 実験後アンケート後に口頭インタビューを行ったところ3Dモデルの正面を理解していないことが明らかになった. このことから, 実験前に3Dモデルの正面を確認させる必要がある. また, 正面と背面がより区別しやすい3Dモデルを選定する必要があると考える.

Q2に対しての自由記述から, 「3Dモデル全体が写るように撮影した」, 「3Dモデルの背景にバリアが写るように意識した」, 「3Dモデルが正面になるように移動した」などのコメントが得られた. このことから, 提案手法を利用することで, 多様な位置・角度からのバリアの撮影を促すことができることがわかった.

Q3に対して5以上の回答をした実験参加者の割合は85.8%であった. このことから, 3Dモデルを映しながらバリアを撮影する際, バリアフリーマップを利用する人がバリアを正確に認識できるバリア画像を収集することに影響を与えないことがわかった.

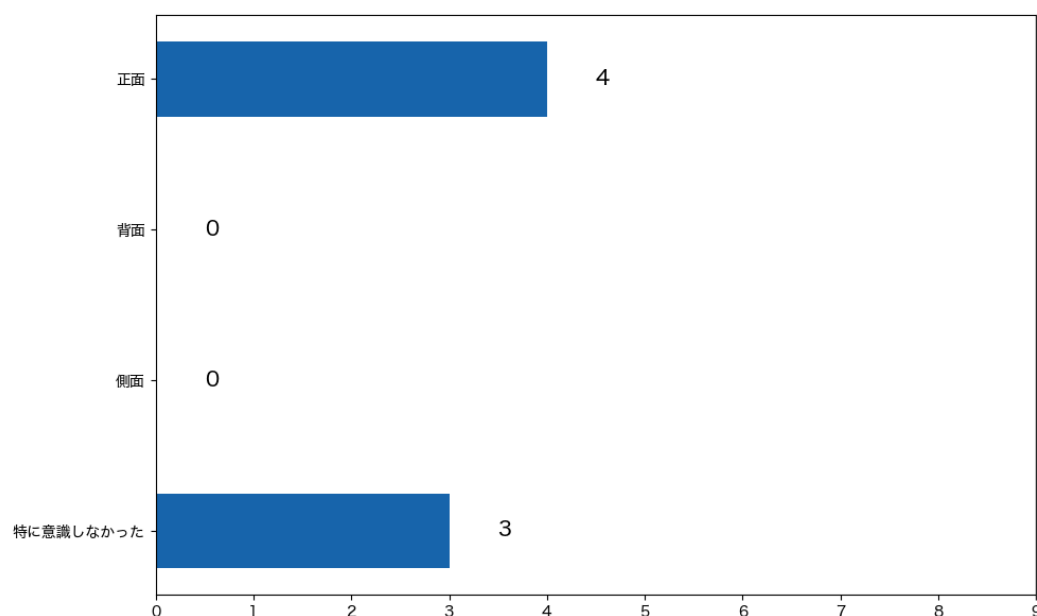


図 6.8: Q1. 3Dモデルをどの角度から撮影することを意識しましたか (選択, N = 7)

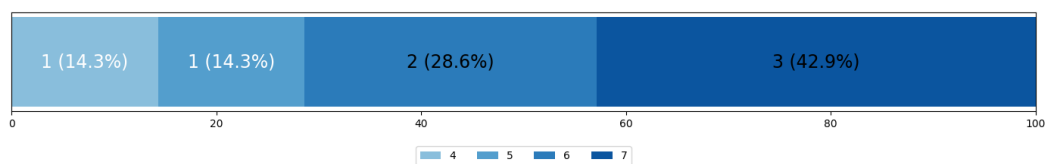


図 6.9: Q3. 3D モデルが表示されている状態でバリアを撮影する際、バリアがしっかり写るように意識しましたか (1: 全くそう思わない～7: とてもそう思う, $N = 7$)

第7章 結論

本研究では、多様な位置・角度からのバリアの撮影を促すために、バリア上に3Dモデルを重畳し、ユーザ・撮影タイミングによって3Dモデルの向き・ポーズが変化する要素を導入したバリア画像収集システムを提案した。提案方法を利用することにより多様な位置・角度からのバリアの撮影を促すことができるか検証するために、実装したシステムを利用して評価実験を行った。具体的には、バリア上に3Dオブジェクトを重畳し、ユーザ・撮影タイミングによって3Dオブジェクトの向き・ポーズが変化する要素が、1つのバリアに対して多様な位置・角度からのバリアの撮影を促すのに有効であるか検証した。実験では、アンケートとバリアを撮影した位置・角度から、提案手法の有効性を評価した。

実験結果から、段数の低く、側面に壁がない階段は3Dモデルを正面から撮影する傾向があり、バリア上に3Dモデルを重畳し、ユーザ・撮影タイミングによって3Dモデルの向き・ポーズを変化させる要素をバリア画像収集に導入することで、多様な位置・角度からのバリアの撮影を促すことが有効であることが確認された。一方、階段の段数が高く、側面に壁がある階段は3Dモデルの向きに関係なく、階段を正面から撮る傾向があることが確認された。これは、提案手法を利用してバリアを撮影した際、多様な位置・角度からのバリアの撮影を促す度合いが階段の段数、側面の壁の有無によって、変化すると考える。上記を踏まえ、撮影するバリアの数を増加させ、階段の段数、側面の壁の有無によって多様な位置・角度からのバリアの撮影を促す度合いが変化するかを調査するため再実験を行う必要があると考える。また、3Dモデルを写すために3Dモデルを近距離から撮影するユーザ、バリア全体を写すために3Dモデルを遠距離から撮影するユーザが存在することが確認された。このことから、3Dモデルの大きさを変えることでも多様な位置・角度からのバリアの撮影を促すことができると考える。

アンケート、口頭インタビューの結果から、提案システムには3Dモデルの正面がわかりにくいという問題点がある。この問題により、多様な位置・角度からのバリアの撮影を促しにくくなる。上記を踏まえ、今後の展望を次に示す。

- (1) 撮影するバリアの数を増加させ、階段の段数、側面の壁の有無によって多様な位置・角度からのバリアの撮影を促す度合いが変化するかを調査するため再実験を行う
- (2) 3Dモデルの大きさが多様な位置・角度からのバリアの撮影を促すかを検証する。
- (3) 正面と背面がより区別しやすい3Dモデルを選定する。
- (4) 5.1節で述べた実装を進める

上記を今後の目標とし、提案システムがより多様な位置・角度から撮影されたバリア画像を収集できるようにすることを目指す。

謝辭

本研究は JSPS 科研費 JP19H04160 の助成を受けて行われた.

参考文献

- [1] Wheelog!. available from <https://wheelog.com/hp/> (accessed 2024-9-10).
- [2] Akihiro Miyata, Kazuki Okugawa, Yusaku Murayama, Akihiro Furuta, Keihiro Ochiai, and Yuko Murayama. Case study: In-the-field accessibility information collection using gamification. Proc. the 20th International Web for All Conference (W4A ' 23), pp. 66–74, 2023.
- [3] Yusaku Murayama, Akihiro Furuta, Keihiro Ochiai, Yuko Murayama, and Akihiro Miyata. Case study on student behavior of barrier image collection through gaming. Proc. 35th Australian Conference on Human-computer-interaction (OzCHI ' 23), 2023.
- [4] Manaswi Saha, Michael Saugstad, Hanuma Maddali, Aileen Zeng, Ryan Holland, Steven Bower, Aditya Dash, Sage Chen, Anthony Li, Kota Hara, , and Jon Froehlich. Project sidewalk: A web-based crowdsourcing tool for collecting sidewalk accessibility data at scale. In *In Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–14, 2019.
- [5] Kotaro Hara, Jin Sun, Robert Moore, David Jacobs, and Jon Froehlich. Tohme: detecting curb ramps in google street view using crowdsourcing, computer vision, and machine learning. In *In Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 189–204, 2014.
- [6] Pokémon Snap. available from <https://www.pokemongo.jp> (accessed 2024-9-10).
- [7] Pokémon GO. available from <https://www.pokemongo.jp> (accessed 2024-9-10).
- [8] Sozialhelden e.v. wheelmap. available from <https://wheelmap.org> (accessed 2024-9-10)..
- [9] Wseeclickfix, inc. seeclickfix. available from <https://seeclickfix.com> (accessed 2024-9-10).
- [10] Carlos Cardonha, Diego Gallo, Priscilla Avegliano, Ricardo Herrmann, Fernando Koch, and Sergio Borger. A crowdsourcing platform for the construction of accessi-

- bility maps. In *In Proceedings of the 10th International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility*, No. 26, pp. 1–4, 2013.
- [11] Akihiro Miyata, Yusaku Murayama, Akihiro Furuta, Kazuki Okugawa, Keihiro Ochiai, and Yuko Murayama. Gamification strategies to improve the motivation and performance in accessibility information collection. *Extended Abstracts of the 2022 ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '22)*, No. 355, pp. 1–7, 2022.
- [12] Akihiro Miyata, Kazuki Okugawa, Yuki Yamato, Tadashi Maeda, Yusaku Murayama, Megumi Aibara, Masakazu Furuichi, and Yuko Murayama. A crowdsourcing platform for constructing accessibility maps supporting multiple participation modes. *Extended Abstracts of the 2021 ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '21)*, No. 419, pp. 1–6, 2021.
- [13] Hannah Badland, Simon Opit, Karen Witten, Robin Kearns, and Suzanne Mavoa. Can virtual streetscape audits reliably replace physical streetscape audits? In *In Proceedings of 2019 IEEE Annual International Computer Software and Applications Conference*, pp. 667–675, 2019.
- [14] Andrew Rundle, Michael Bader, Catherine Richards, Kathryn Neckerman, and Julien Teitler. Using google street view to audit neighborhood environments. *American Journal of Preventive Medicine*, Vol. 40, No. 1, pp. 94–100, 2011.
- [15] Galen Weld, Esther Jang, Anthony Li, Aileen Zeng, Kurtis Heimerl, and Jon Froehlich. Deep learning for automatically detecting sidewalk accessibility problems using streetscape imagery. In *The 21st International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pp. 196–209, 2019.
- [16] ar (拡張現実) とは? 技術や vr、mr との違いを解説. available from https://www.nec-solutioninnovators.co.jp/sp/contents/column/20221007_ar.html (accessed 2024-9-10).
- [17] Jinmeng Rao, Yanjun Qiao, Fu Ren, Junxing Wang, and Qingyun Du. A mobile outdoor augmented reality method combining deep learning object detection and spatial relationships for geovisualization. *Sensors*, Vol. 17, No. 1951, 2017.
- [18] Alexandros Kleftodimos, Maria Moustaka, and Athanasios Evagelou. Location-based augmented reality for cultural heritage education: Creating educational, gamified location-based ar applications for the prehistoric lake settlement of dispilio. *Digital*, Vol. 3, pp. 18–45, 2023.

-
- [19] Amalia Triantafyllidou Magdalini Grigoriou Georgios Lappas Alexandros Kleftodimos, Athanasios Evagelou. Location-based augmented reality for cultural heritage communication and education: The doltso district application. *Sensors*, Vol. 23, No. 12, 2023.
 - [20] Rui Nóbrega, João Jacob, António Coelho, Jessika Weber, João Ribeiro, and Soraia Ferreira. Mobile location-based augmented reality applications for urban tourism storytelling. *IEEE Conference Proceedings*, 2023.
 - [21] Chris Panou, Lemonia Ragia, Despoina Dimelli, and Katerina Mania. An architecture for mobile outdoors augmented reality for cultural heritage. *International Journal of Geo-Information*, Vol. 7, No. 463, 2018.
 - [22] Mark Billingham, Adrian Clark, Gun Lee, et al. A survey of augmented reality. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, Vol. 8, No. 2-3, pp. 73–272, 2015.

付録

研究業績

研究会・シンポジウム

- (1) 水留悟, 村山優作, 土岐田力輝, 栗飯原萌, 田中絵里子, 宮田章裕: 複数アングルでの撮影を促すゲーム要素を利用したバリア画像収集システムの基礎検討, 情報処理学会インタラクション 2024 論文集, pp.979-982 (2024 年 2 月).
 - (2) 水留悟, 土岐田力輝, 呉健朗, 栗飯原萌, 宮田章裕: 多様な位置・角度からのバリア撮影を促す手法の基礎検討, 情報処理学会コラボレーションとネットワークサービスワークショップ 2024 論文集, Vol.2024, pp.79-80 (2024 年 11 月)
-

受賞

- (1) 情報処理学会コラボレーションとネットワークサービスワークショップ 2024 ベストポジションペーパー発表賞, 多様な位置・角度からのバリア撮影を促す手法の基礎検討, 受賞者: 水留悟, 土岐田力輝, 呉健朗, 栗飯原萌, 宮田章裕 (2024 年 11 月).