## ゲーミフィケーションを用いた バリア検出のための歩行データ収集システムの研究

令和2年度 修士論文

日本大学大学院 総合基礎科学研究科 地球情報数理科学専攻 宮田研究室

6119M10 大和 佑輝

## 概要

生活空間を観察すると,道路・通路は障害者にとって移動しやすいものではないことに 気付く. 例えば、段差を越えないと入店できない飲食店や、上るのが困難な急な坂道など が街中に溢れている。これらのバリアの存在を把握することは、移動弱者の移動計画を助 ける観点で非常に重要である. 移動計画を立てる際には、どの位置にバリアが存在するか を把握するために、バリアフリーマップが用いられる、しかし、現在のバリアフリーマッ プは高精度・実用的なバリアフリー状況を表示しているものが少ない。これは高精度・実 用的に使用できるバリアフリーマップ作成には、バリア情報を収集する際に高いコストが かかるという点である。この観点から、先行研究では、健常者の歩行時加速度データを 用いて高精度・実用的に屋内外のバリアの存在・種別を推定する方式を提案してきた. こ れらの先行研究では、広範囲・連続的な歩行データを収集することができるが、実用レベ ルのバリアフリーマップを作成するためには、大量の歩行データが必要である.しかし、 歩行データを計測・提供するユーザ自身には直接的なメリットが無いため、彼らは歩行 データ収集を行うモチベーションを維持しにくいことが考えられる. 本研究では、様々な シーンにおけるモチベーション維持の手段として活用されているゲーミフィケーションに 着目し, ユーザの歩行データ収集にゲーミフィケーションを適用することで, ユーザの歩 行データ収集に対するモチベーションを維持できるようになることを目指す. 提案システ ムの有用性を確認するためのベースラインシステム(Walker)と提案システム(Gamer) との比較実験では、提案システム(Gamer)を用いて行うバリア情報収集はユーザのモ チベーション維持・向上の効果に与える影響があるかについては、実験参加者数・実験 時間の制約により、効果を一概に論じることができなかったが、ベースラインシステム (Walker) で計測した歩行データと提案システム(Gamer) で計測した歩行データの品質 に差があるかについては、実験参加者数・実験時間に制約を設けた場合において実験参加 者が計測した多くの歩行データにおいては同質性が高いことが期待できた.

- ユーザの歩行データ収集に対するモチベーションを維持・向上することでより多く の歩行データを収集可能とするゲーミフィケーションシステムを提案したこと.
- 提案するゲーミフィケーションシステムを用いてユーザ実験を行い,収集されたデータの品質について検証を行ったこと.

# 目 次

第1章 1.1 1.2 1.3	研究の背景	1 2 2 3
第2章	関連研究	4
æ <del>2 ∓</del> 2.1		5
2.1		5
0.0		6
2.2		8
		8
	2.2.2 情報収集を目的としたゲーミフィケーション	9
第3章	研究課題 1	.0
3.1	問題の定義 1	1
3.2	研究課題の設定	
笙 ₄ 音	ゲーミフィケーションを用いて	
73 1 —		.3
4.1	提案手法	
4.1	)に本   1台 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	- 1
4.2		5
4.2	システム要件 1	
4.3	システム要件	16
4.3 4.4	システム要件	l6
4.3	システム要件	l6
4.3 4.4	システム要件	l6
4.3 4.4 4.5	システム要件 1   システムデザイン 1   ゲームのルール 1   収集したデータの利用方法 1   歩行による陣取りゲームの実装 1	l6 l6
4.3 4.4 4.5 第 <b>5章</b>	システム要件1システムデザイン1ゲームのルール1収集したデータの利用方法1歩行による陣取りゲームの実装1システムの全体像1	l6 l7
4.3 4.4 4.5 第 <b>5章</b> 5.1	システム要件1システムデザイン1ゲームのルール1収集したデータの利用方法1歩行による陣取りゲームの実装1システムの全体像1Walker 方式2	16 16 17
4.3 4.4 4.5 第 <b>5章</b> 5.1	システム要件1システムデザイン1ゲームのルール1収集したデータの利用方法1歩行による陣取りゲームの実装1システムの全体像1Walker 方式25.2.1 Walker 画面2	16 17 19 20
4.3 4.4 4.5 第 <b>5章</b> 5.1 5.2	システム要件1システムデザイン1ゲームのルール1収集したデータの利用方法1歩行による陣取りゲームの実装1システムの全体像1Walker 方式25.2.1 Walker 画面2Gamer 方式2	16 17 18 19 20 20
4.3 4.4 4.5 第 <b>5章</b> 5.1 5.2	システム要件1システムデザイン1ゲームのルール1収集したデータの利用方法1歩行による陣取りゲームの実装1システムの全体像1Walker 方式25.2.1 Walker 画面2Gamer 方式25.3.1 フィールド定義2	16 17 19 20

	評価実験	24
6.1	実験の目的	25
6.2	実験の概要	25
	実験の手順	
	実験結果	
6.5	考察	62
第7章	結論	66
参考文献	<del>C</del>	69
研究業績		<b>7</b> 3

## 図目次

2.1	歩行時の加速度データの収集方法		7
5.1	システムの全体像		 19
5.2	Walker 画面		 20
5.3	実世界を格子状に分割したエリア*		 21
5.4	陣地獲得方法		 22
5.5	Gamer 画面		23
6.1	実験参加者 A の 1 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 ax)	 29
6.2	実験参加者 A の 1 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 ay)	 30
6.3	実験参加者 A の 1 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 az)	 30
6.4	実験参加者 A の 2 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 ax)	 31
6.5	実験参加者 A の 2 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 ay)	 31
6.6	実験参加者 A の 2 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 az)	 32
6.7	実験参加者 A の 3 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 ax)	 32
6.8	実験参加者 A の 3 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 ay)	 33
6.9	実験参加者 A の 3 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 az)	 33
6.10	実験参加者Bの1日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 ax)	 34
6.11	実験参加者Bの1日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 ay)	 34
6.12	実験参加者Bの1日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 az)	 35
6.13	実験参加者 B の 2 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 ax)	 35
6.14	実験参加者 B の 2 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 ay)	 36
6.15	実験参加者 B の 2 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 az)	 36
6.16	実験参加者 B の 3 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 ax)	 37
6.17	実験参加者 B の 3 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 ay)	 37
6.18	実験参加者 B の 3 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 az)	 38
6.19	実験参加者 C の 1 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 ax)	 38
6.20	実験参加者 C の 1 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 ay)	 39
6.21	実験参加者 C の 1 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 az)	 39
6.22	実験参加者Cの2日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 ax)	 40
6.23	実験参加者Cの2日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 ay)	 40
6.24	実験参加者 C の 2 日目の周波数領域における歩行データ	(加速度 az)	 41

6.25	実験参加者 C の 3 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ax)	41
6.26	実験参加者 C の 3 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ay)	42
6.27	実験参加者 C の 3 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 az)	42
6.28	実験参加者 D の 1 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ax)	43
6.29	実験参加者 D の 1 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ay)	43
6.30	実験参加者 D の 1 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 az)	44
6.31	実験参加者 D の 2 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ax)	44
6.32	実験参加者 D の 2 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ay)	45
6.33	実験参加者 D の 2 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 az)	45
6.34	実験参加者 D の 3 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ax)	46
6.35	実験参加者 D の 3 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ay)	46
6.36	実験参加者 D の 3 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 az)	47
6.37	実験参加者 E の 1 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ax)	47
6.38	実験参加者Eの1日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ay)	48
6.39	実験参加者 E の 1 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 az)	48
6.40	実験参加者 E の 2 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ax)	49
6.41	実験参加者 E の 2 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ay)	49
6.42	実験参加者 E の 2 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 az)	50
6.43	実験参加者 E の 3 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ax)	50
6.44	実験参加者 E の 3 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ay)	51
6.45	実験参加者 E の 3 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 az)	51
6.46	全実験参加者の1日目の加速度 ax のコサイン類似度	52
6.47	全実験参加者の1日目の加速度 ay のコサイン類似度	52
6.48	全実験参加者の1日目の加速度 az のコサイン類似度	53
6.49	全実験参加者の2日目の加速度 ax のコサイン類似度	53
6.50	全実験参加者の2日目の加速度 ay のコサイン類似度	54
6.51	全実験参加者の2日目の加速度 az のコサイン類似度	55
6.52	全実験参加者の3日目の加速度 ax のコサイン類似度	56
6.53	全実験参加者の3日目の加速度 ay のコサイン類似度	57
6.54	全実験参加者の3日目の加速度 az のコサイン類似度	58
6.55	実験前:Q1. バリアフリーマップを知っている(1: そう思わない~7: そう	
	思う) (N=5)	58
6.56	実験前:Q2. バリアフリーマップを使用している(1: そう思わない~7: そ	
	う思う) (N=5)	58
6.57	実験後:Q1. 計測行為は楽しいと感じましたか?(1: 感じなかった~7: と	
	ても感じた)(N=5)	59
6.58	実験後: Q2. 計測行為は有意義と感じましたか?(1: 感じなかった~7: と	
	ても感じた) (N=5)	59

6.59	実験後:Q3. 計測行為に没頭できたと感じましたか?(1: 感じなかった~	
	7: とても感じた) (N=5)	59
6.60	実験後:Q4. 計測行為をまたやりたいと感じましたか? (1: 感じなかった	
	~7: とても感じた)(N=5)	60
6.61	実験後:Q5. 継続してこれからも計測行為をしたいと感じましたか?(1: 感	
	じなかった~7: とても感じた)(N=5)	60
6.62	実験後:Q6. Gamer をプレイしていて、現実世界上の陣地を取り合うス	
	トーリーはゲームの世界観を表現できていると感じましたか?(1: 感じな	
	かった~7: とても感じた)(N=5)	60
6.63	実験後:Q7. Gamer をプレイしていて、ユーザ自身が歩くたびに陣地が獲	
	得できていたと感じましたか?(1: 感じなかった~7: とても感じた) (N=5)	60
6.64	実験後:Q8. Gamer をプレイしていて、他のプレイヤと陣地を取り合って	
	いると感じましたか?(1: 感じなかった~7: とても感じた)(N=5)	61
6.65	実験後:Q9. Gamer をプレイしていて、安全性が確保されていると感じま	
	したか?(1: 感じなかった~7: とても感じた)(N=5)	61
6.66	実験前後:Q1. 日常的に訪れる場所のバリアの存在・位置を把握している	
	(1: そう思わない~7: そう思う) (N=5)	61
6.67	実験前後:Q2. 日常的に訪れる場所はバリアフリー化が進んでいる(1: そ	
	う思わない~7: そう思う) (N=5)	61
6.68	実験前後:Q3. 公共空間(日常的に訪れるか否かは問わない)のバリアフ	
	リー化は喫緊の課題である( $1$ : そう思わない $\sim$ 7: そう思う)( $N=5$ )	62
6.69	実験後:Q3. 計測行為に没頭できたと感じましたか?(1: 感じなかった~	
	7: とても感じた) (結果 1) (N=5)	64
6.70	実験前後:Q1. 日常的に訪れる場所のバリアの存在・位置を把握している	
	(1: そう思わない~7: そう思う) (結果 2) (N=5)	65

## 表目次

4.1	バリアフリーマップ作成のためのクラウドソーシングシステムの比較	15
5.1	クライアント・サーバアプリケーションに利用した環境・アプリケーション	19
	実験前のみの実験参加者への質問一覧	
	実験前後の共通の実験参加者への質問一覧	
6.4	全実験参加者の 3 日間の加速度 ax, ay, az のコサイン類似度	28

## 第1章 序論

第1章 序論 2

### 1.1 研究の背景

生活空間は、車椅子利用者やベビーカー利用者などの移動弱者にとって、必ずしも快適に移動できるものになっていない。例えば、段差を越えないと入店できない飲食店や、上るのが困難な急な坂道などが街中に溢れている。これらのバリアの存在を把握することは、移動弱者の移動計画を助ける観点で非常に重要である。移動計画を立てる際には、どの位置にバリアが存在するかを把握するために、バリアフリーマップが用いられる。しかし、現在のバリアフリーマップには2つ欠点がある。

まず、現在のバリアフリーマップは、施設内や駅周辺などの狭い範囲のバリアフリー状況を表示しているものが多く、目的地に辿り着くまでの経路上に存在するバリアを含めた広範囲のものが少ないため実用的ではないという点である。具体例として、実用的でないバリアフリーマップを利用して移動計画を考えた場合、移動中に思わぬバリアに遭遇し、立ち往生するケースが発生する恐れがある。次に、高精度・実用的に使用できるバリアフリーマップ作成には、バリア情報を収集する際に高いコストがかかるという点である。具体的には高精度・実用的なバリアフリーマップ作成のためには、バリア情報に対して知識を持った調査員が現地に赴きバリア情報を収集することが必要であり、現在のバリア情報を収集する高いコストを低減する研究がある。例えば、ユーザ間で車椅子で移動できるルートや車椅子に対応した設備を備えている施設などの情報を共有し、バリアフリーマップを作成するアプローチや、車椅子や台車などが移動する際の加速度を分析することで、バリア情報を抽出するアプローチが存在する。しかし、これらのアプローチでは特定のユーザがバリア情報を収集するため網羅性が低くなってしまう。

### 1.2 研究の目的

前節で説明した現在のバリアフリーマップの問題に鑑み、本研究での広範囲・高精度のバリアフリーマップを低コストで実現することを目指す。この目標達成を狙い、先行研究では健常歩行者の歩行時センサデータに基づいてバリアフリーマップを自動生成する試みがなされてきた [1][2][3][4]. これは、健常者の日常生活時中の歩行データを収集し、機械学習を用いることで、バリアを検出するという方式である。これらの先行研究では、広範囲・連続的な歩行データを収集することができるが、実用レベルのバリアフリーマップを作成するためには、大量の歩行データが必要である。しかし、歩行データを計測・提供するユーザ自身には直接的なメリットが無いため、彼らは歩行データ収集を行うモチベーションを維持しにくいことが考えられる。本研究では、様々なシーンにおけるモチベーションを維持の手段として活用されているゲーミフィケーションに着目し、ユーザの歩行データ収集にゲーミフィケーションを適用することで、ユーザの歩行データ収集に対するモチベーションを維持できるようになることを目指す。

第1章 序論 3

### 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、ゲーミフィケーションに関する研究事例 について紹介する.

3章では、バリア情報収集における問題とユーザの歩行データ収集に対するモチベーション維持が難しい問題について述べ、それらを踏まえた上で本研究における課題を設定する.

4章では、ゲーミフィケーションを適用することでユーザの歩行データ収集に対するモチベーション維持が難しいという問題を解決し、ユーザが歩行データを陣取りゲームを行うことで収集できるようにする方式を提案する.

5章では、ユーザが陣取りゲームを行うことで歩行データを収集できるゲームの実装方法について具体的に述べる。

6章では、行ったユーザ実験の目的や手順について述べ、実験結果から得られた知見についても述べる.

最後に7章にて、本論文の結論を述べる.

# 第2章 関連研究

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、ゲーミフィケーション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

屋内外のバリア情報収集に関する研究事例は数多い。それらは、バリアを人間が手動検出するアプローチと、バリアをシステムがセンサデータに基づいて自動判断するアプローチに大別できる。さらに、前者は人間が現地に赴いて判断するもの(2.1.1.1 目)と、人間が遠隔地から判断するもの(2.1.1.2 目)に細分化でき、後者は車両移動時のセンサデータに基づくもの(2.1.2.1 目)と、歩行時のセンサデータに基づくもの(2.1.2.2 目)に細分化できる。

### 2.1.1 人間が判断を行うアプローチ

#### 2.1.1.1 人間が現地に赴き判断するアプローチ

人間が現地に赴き判断するアプローチとしては,行政スタッフや車いす利用者,一般 ユーザが現地に赴いてバリア情報を発見・収集する事例がある. 文献 [5] は、国交省主導 で行われているバリア情報収集の取り組みである.この取り組みの目的は、障害の有無 や年齢、言語等に関わらず誰もが自由に自立的に移動できる世界の実現である、これを 実現するために歩行者移動支援サービスがある. 歩行者移動支援サービスとは, 人のス ムーズな移動や活動等に必要となる経路や施設等に関する情報を、スマートフォンやタ ブレット等の携帯情報端末から入手することにより、個々人の身体的特性や移動シーンに 応じた支援を行うサービスのことである. 文献 [5] は、歩行者移動支援サービスの提供に 際し、重要な役割を担う「歩行空間ネットワークデータ」と「施設データ」の整備内容及 びデータ構造を定めたものである. 歩行空間ネットワークデータとは、道路上の段差や幅 員,スロープなどの歩行経路のバリアフリーに関する情報を付与した経路情報と経路情報 の結節点によって構成されるデータのことである. このデータを利用することで、ユーザ に対して出発地から目的地までのナビゲーション等のサービスを提供することができる. 施設データとは、公共施設等の名称や位置情報と施設のバリアフリー情報を含んだデー タのことである.このデータを利用することで,ユーザに対して施設のバリアフリー設備 の確認や、周辺の多機能トイレを検索する等のサービスを提供することができる. ある特 定のユーザに対するバリア情報を収集している文献もある[6][7]. 文献[6]は、車いす利用 者向けのバリア情報をユーザがインターネット上に投稿できるサービスである. 加えて. 車椅子で目的地に行くことができるかどうかを確かめることもできる. この取り組みの目 的は、車いす利用者が自由に自立的に移動できる世界の実現である。 文献 [7] も同様の仕 組みを提案しているが、対象を車椅子利用者だけでなく視聴覚障害者にも広げている点、 投稿されたバリア情報を他のユーザが評価できる点が異なる. この取り組みの目的は、車 椅子利用者だけでなく視聴覚障害者も自由に自立的に移動できる世界の実現である。上

記までの文献のバリア情報収集はユーザがバリア情報に対して専門の知識が必要である. 専門知識を持たないユーザでもバリア情報収集ができる文献がある [8]. 文献 [8] は、調査すべき項目を明示した専用入力フォームを用いることで、専門知識を持たないユーザでもバリアフリーに関する情報を収集できるツールである. これは、バリア情報収集を行っているユーザの多くはバリア情報に対して一定の知識を保有しているが、バリア情報に対して一定の知識を保有したユーザは専門知識を持たないユーザよりも少ないため必要な経路に対して精度高く持続的に収集することが困難という問題を解決するためのツールである. 実際にこの文献 [8] のツールを利用した路面バリアのクラウドセンシングシステムMaPiece[9] が提案されている.

#### 2.1.1.2 人間が遠隔地から判断するアプローチ

人間が遠隔地から判断するアプローチとしては、一般ユーザがインターネットを通じて遠隔地からバリア情報を発見・収集する事例 [10][11][12] がある.これらは、Google Street View 上で市街地の写真を作業者が閲覧し、バリアを発見した箇所にマーキングする方式をとっている。実際に現場に行かないため 2.1.1.1 目と比べ、短い時間で高い網羅性のバリア情報を収集することができる.

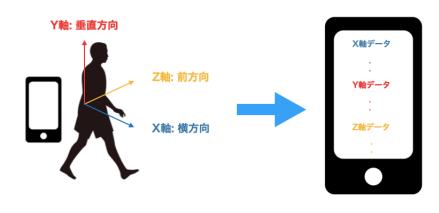
### 2.1.2 センサデータから自動判断するアプローチ

#### 2.1.2.1 車両移動時のセンサデータからするアプローチ

車両移動時のセンサデータから自動判断するアプローチとしては、自動車移動時のセン サデータから車道上のバリア情報を発見する事例や、車椅子移動時のセンサデータから歩 道上のバリア情報を発見する事例がある. 文献 [13] は、専用モジュールを搭載した自動車 で計測した加速度データから抽出した特徴量を、ルールベースで分析して車道上の窪み などを検出している. 文献 [14] も同様の取り組みをしているが、車内のスマートフォンを データ計測に用いている点が異なる. 文献 [15][16][17] は, 車椅子に装着したセンサデー タに基づいて, 主に歩道の路面状態を評価する試みである. この手法を応用し, 加速度・ 角速度センサを装着した車椅子で市街地を移動することで、バリアがある場所を発見しよ うとする試みもさかんである. 文献 [18] は加速度データを SVM で分析することで段差・ 傾斜の有無を推定している. 文献 [19] は加速度変化から車椅子の角度を計算し、これに 基づいて段差・傾斜の有無と大きさを推定している. 文献 [20] は加速度データを k 近傍法 で分析して平坦・傾斜などの路面状態を推定している. 文献 [21] はアルゴリズムの詳細を 明らかにしていないが、加速度変化から路面の凹凸を検出するアプリケーションの開発を 目指すとしている. 文献 [22] は車椅子の移動の様子がユーザごとに異なることに着目し, ユーザごとに適切なモデルを選択したうえで加速度データを Deep Learning で分析するこ とで、段差・傾斜に加え、引き返しが生じる場所などの検出にも挑戦している. 文献 [23] は加速度データに加え、心拍データも分析対象とすることで、車道が近くて緊張するなど の心理的なバリアの検出を試みている.

#### 2.1.2.2 歩行時のセンサデータから自動判断するアプローチ

センサデータを用いて人間の歩行の様子を推定しようとする試みは数多い. 文献 [24] は, 足首に取り付けた装置で計測した加速度データから抽出した Time Domain(TD), Frequency Domain(FD) の特徴量を分析する決定木を作成し、ユーザが歩いているか、走っ ているかなどの状態を推定している. 決定木に用いられるパラメータは固定的ではなく, 各ユーザの直前のデータに基づいてオンラインで更新されるため、パーソナライズされた 推定結果が得られるとしている. 文献 [25] は、ズボンの前ポケットに入れたスマートフォ ンで計測した加速度データから抽出した平均値、標準偏差、ピーク間距離などの TD 特徴 量を、ロジスティック回帰などの機械学習手法で分析して、歩く、走る、階段を上る、階 段を下りる,座る,直立するという6つの行動の識別を行っている。一方,文献[26]は, スマートフォンをズボンのポケットに入れた状態に加え、鞄に入れた状態、手に持った 状態で計測した加速度データから、ユーザが歩いているか否か判定している。 判定には HMM などの機械学習手法を用いており、利用する特徴量は TD・FD のものである. 上 記の行動推定技術の発展として,歩行時のセンサデータから路面状態を推定してバリア 情報を発見する試みが現れ始めている. 文献 [27] は、靴に固定した加速度センサで計測 したデータから抽出した特徴量を、ルールベースで分析することで、路面が平坦か凸凹 かを推定している. 文献 [28] は、TD、FD の特徴量を分析する SVM の識別器を作成し、 ユーザが歩いている路面が平坦か、階段か、坂か判定する試みを行っている.この研究で はスマートフォンの位置(例:ポケット, 鞄)が未知であるとし,推定対象の時間帯の前 後時間帯も分析することで推定精度を向上させている. 本研究でも, 歩行データを Deep Learning で分析することで、従来の手動設計特徴量を上回るバリア推定精度が達成でき ることを明らかにしてきた[1][2][3][4]. 本研究での歩行データの収集方法を図 2.1 に示す.



スマートフォンで一定時間 3軸の加速度・角速度・位置情報を計測する

3軸の加速度・角速度・位置情報の データが作成される

図 2.1: 歩行時の加速度データの収集方法

### 2.2 ゲーミフィケーションに関する研究事例

過去数年間,ゲーミフィケーション [29][30][31] はトレンディング・トピックであり,ユーザーエンゲージメントをサポートし、ユーザーアクティビティ、ソーシャルインタラクション、などの品質と生産性の向上などの手段として多くに適用されています [32].ゲーミフィケーションとは,ゲーム以外の分野に対してユーザへインセンティブを与えるために,ゲーム独特の発想・仕組みを加えることである [29][30][32]. 具体的には遊びや競争など,人を楽しませて熱中させるゲームの要素や考え方を,ゲーム以外の分野に応用する取り組みであり,ゲーム独特の発想・仕組みによりユーザーを引きつけてユーザに継続して物事を続けられるための仕組みである.ゲーミフィケーションが適用される例としては,節電,掃除,情報収集といった単調な作業である.ゲーミフィケーションを適用することにより,ユーザは,節電,掃除,情報収集といった単調な作業を継続して続けられる.

ゲーミフィケーションを用いてユーザの自発性を向上させる研究事例は数多い. それらは単調な作業や社会問題のためのゲーミフィケーションと,情報収集を目的としたゲーミフィケーションに大別できる.

### 2.2.1 単調な作業や社会問題のためのゲーミフィケーション

節電や掃除といった単調な作業や社会問題の解決にゲーム独特の発想・仕組みを取り入 れている事例がある. #denkimeter[33] は、ユーザに節電を促すために、家庭の電気メー ターの数値を読み取り、ユーザ間で節電行為を競い合わせるゲームを提案している. ゲー ム参加者であるユーザは、ゲーム開始時に電気メーターの数値を読み取り、Twitter にツ イートを行う、そして規定の時間が終了したら、電気メーターの数値を確認し、ゲーム 終了の時間に再度ツイートを行う、その結果、使用電力量を競いあうと共に、ゲーム後 に、 行った節電行為について参加者間で共有する時間を設けている. 文献 [34][35] は掃除 を楽しくするゲームを提案している. 掃除機の往復運動の動きをポイント化し, 程よいス ピードで大きく往復運動すると獲得ポイントが高くなるようにしている. 1回の掃除のポ イントをゲームスコアとして得点化している. ユーザが掃除を開始した際, システムが Twitter にツイートを行い、他のユーザへ掃除をしていることを知らせる機能がある. ま た,このツイートが他のユーザによってリツイートされた場合,自動で音が発せられ,掃 除の励みとできる機能もある. 文献 [36] は、高齢者の社会的孤立を防止するために、外出 の促進と社会的ネットワーク形成支援を目的とした、スタンプラリーにランキング・バッ ジ・ポイントといったゲーム要素を取り入れた街歩きアプリケーションを提案している. また、退職後の社会ネットワーク形成に関する事前アンケート調査も行っており、これを もとにアプリケーションを利用しながらグループで街を歩くイベントを行っている. アプ リケーションには主に2つの機能があり,電子版スタンプラリーとしての機能と,写真投 稿を通じて地域の情報を発信し合う SNS としての機能がある. これにより投稿された写 真はまちづくりに活用されている.

### 2.2.2 情報収集を目的としたゲーミフィケーション

情報収集を目的としたゲーミフィケーションも数多く提案されていることが報告されて いる [37]. UbiAsk[38] は、質問とそれに対する回答などを共有できるプラットフォームで ある. ゲーム要素でユーザの積極的な参加を促す工夫がされている. Witt らの研究 [39] は、大勢からアイデア収集を行うタスクにおけるゲーミフィケーションの効果を明らかに している. Tiger Nation[40] は、野生動物に関する情報収集にゲーミフィケーション要素 を導入した取り組みである. Massung らの研究 [41] は、街中で開きっぱなしになってい るドアの情報を収集する取り組みにゲーミフィケーションを適用している. 国内において も、歩行者ナビゲーションに必要な歩道や通路の動的な状況変化の情報をゲーミフィケー ションにより収集する方法が提案されている [42]. 歩行者ナビゲーションの利用者は, 歩 道や通路での状況変化の情報、種別などのコメントや写真をサーバにアップロードするこ とで、ポイントを獲得することができる。ここで得られたポイントは、ユーザのレベル付 けに用いられる.また、経路の周辺の風景や環境の情報などのコメントや写真をサーバに アップロードすることで、利用者が経路選択に活用できる情報を共有する、ユーザが収集 した情報は他のユーザにも共有され、信頼度や有用性が評価される. そして、評価の高い 情報を提示したユーザにはポイントとともにバッジ(称号)が与えられるなどをしてユー ザの情報提示意欲を高めている.

# 第3章 研究課題

第 3 章 研究課題 11

### 3.1 問題の定義

生活空間を観察すると、日本の道路・通路は障害者にとって移動しやすいものではないことに気付く。例えば、段差を越えないと入店できない飲食店や、上るのが困難な急な坂道などが街中に溢れている。これらのバリアの存在を把握することは、障害者の移動計画を助けるだけでなく、道路・施設管理者への改善を促せるという観点からも、有益である。

屋内外のバリア情報を収集する試みは多数行われているが、2.1.1.1目の研究事例は人的コストが高く、広域のバリア情報を集めるのには不向きである。例えば、研究事例 [5][6][7][8]は、行政スタッフや車いす利用者、一般ユーザが現地に赴いてバリア情報を発見・収集するものであるが、人的コストや広域のバリア情報を集めることを十分に考慮できていない。2.1.1.2目の研究事例は画像の解像度・オクルージョンの問題から、バリア情報の正確性が高まりにくい。例えば、研究事例 [10][11][12]は、一般ユーザがインターネットを通じて遠隔地からバリア情報を発見・収集するものであるが、バリア情報の正確性を十分に考慮できていない。また、2.1.2.1目の研究事例は自動車や車椅子利用者の移動時に発生するセンサデータを分析する方法であるが、自動車は歩道のバリア情報を収集することが困難であり、車椅子利用者の数は健常者と比べると少ないため、広域におけるバリア情報の収集が困難である。例えば、研究事例 [15][16][17]は、車椅子に装着したセンサデータから路面状態を推定するものであるが、広域におけるデータ収集を十分に考慮できていない。一方、2.1.2.2目の研究事例 [27][28] は健常者歩行時に生じるセンサデータからバリアの存在・種別を推定する方法であり、健常者の人数は相対的に多いため、より広域のバリア情報を収集できる。

そこで先行研究でも、高精度・実用的に屋内外のバリアの存在・種別を推定する方式を提案してきた [1][2][3][4]. これらの先行研究は、歩行時の歩行データを Deep Learning で分析することで、各位置に存在する急坂、階段、段差などのバリアを検出するアプローチである. しかし、このアプローチには、ユーザの歩行データ収集に対するモチベーションを維持することが困難であるという問題がある. 具体的には、ある地点のバリア検出を行うためには現地を実際に歩いた際の歩行データが必要であるが、歩行データを計測・提供するユーザ自身には直接的なメリットが無いため、彼らは歩行データ収集を行うことに意欲を感じにくいと思われる. バリア検出精度を高めるためには、同じ地点において複数件の歩行データが存在することが望ましいが、ユーザは同じところを何度も歩くという手間がかかる作業に対して一層意欲を感じにくいと考えられる.

すなわち、本研究における問題は、バリアフリーマップ構築のための歩行データ収集に対して、ユーザがモチベーションを維持・向上することが難しいことであると定義できる.

## 3.2 研究課題の設定

3.1 節で定義した問題を解決するためには、歩行データ収集に対してなんらかの報酬を与えることでユーザに意欲を感じてもらう仕組みが必要である。この仕組みの候補として、第1に金銭的報酬(例:現金、物品)の利用が考えられる。しかし、バリアフリーマッ

第 3 章 研究課題 12

プ構築を目的とする行動に対して十分な金銭などを提供できる原資を確保するビジネス モデルの構築は困難であり、世界を見渡しても成功を収めている事例は見当たらない.こ こから、非金銭的報酬の利用が妥当であると判断できる.

上記をふまえ、本研究では、非金銭的報酬を用いて、ユーザの歩行データ収集に対するモチベーションを維持・向上させるシステムを構築することを研究課題として設定する.

## 第4章 ゲーミフィケーションを用いて バリア情報収集を行う方式の提案

### 4.1 提案手法

3.2節で設定した課題を達成するために、本研究ではゲーミフィケーションに注目する。 タスクに対するユーザのモチベーションを維持する手段として、ゲーミフィケーションを 適用するアプローチが数多く提案されている(2.2節)。例えば、"節電"や "高齢者の社 会的孤立を防止"といった社会問題をゲーミフィケーションで解決できることが示唆され ている。情報収集においても様々な取り組みが行われており、一定の効果があることが報 告されている。このことから、本研究の研究課題に対してもゲーミフィケーションが一定 の効果を及ぼすことが期待される。上記をふまえ、本研究では、ゲーミフィケーションを 用いたバリア検出のための歩行データ収集システムを提案する。

本研究が提案する手法の効果は、既存手法では得られない.これは、現在のバリアフリーマップが次の2つのアプローチを用いていないためである(表 4.1).

- 歩行時のセンサデータから自動判断するアプローチ
- 情報収集を目的としたゲーミフィケーション

既存の研究である歩行時のセンサデータから自動判断するアプローチ [1, 2, 3, 24, 25, 26, 27, 28] は、歩行することでバリア情報を計測・提供できるが、バリア情報を計測・提供するユーザ自身に対する直接的なメリットを与えていないため、ユーザのモチベーションを維持することが難しいと考えられる。情報収集を目的としたゲーミフィケーションのアプローチ [42] は、歩行者ナビゲーションに必要な歩道や通路の動的な状況変化の情報をゲーミフィケーションにより収集する方法を採用しているが、ユーザがバリア情報を写真で撮る必要があるため、バリアに関する知識のある専門家でない場合、高精度にバリア情報を収集しにくい可能性がある。提案システムは情報収集にゲーミフィケーションを適用したものであり、スコアやランキングなどの一般的なゲーミフィケーション要素を採用している点が既存研究 [38][39][40][41] と共通している。

- 一方、本研究は情報収集量を増やすために、(1) 収集対象をセンサデータとしている点と、(2) モチベーションの程度に応じた 2 つの情報収集機能を導入している点で工夫を行っており、これらが既存研究との大きな差である。
- (1) について、既存研究は、コメントなどを収集する機能を備えているが、センサデータを収集する仕組みは備えていない。これに対して、本研究では、歩行時の加速度・角速度センサデータを収集する機能を備えている。知的作業により作成するコメントと異なり、センサデータはユーザが何らかの知的作業を行わなくても継続的に記録できるため、情報収集のエリア網羅性が向上することが期待できる。
- (2) について、既存研究においてユーザから情報を投稿する方法は、コメントの考案などの知的作業を伴う方法である場合が大半である。このため、この作業を行うモチベーションが湧かない場合は、ユーザは情報の投稿を行わないことが想像される。これに対して、本研究では、バリア情報収集に意欲的でないユーザのための歩行データ計測用のGamer を用意している。これにより、ユーザのバリア情報収集に対するモチベーション

が低い場合に後者を実行してもらえることが期待され、作業コストが高い情報投稿方法の場合よりも、多くの情報収集機会が得られると考えられる.

以降, 4.2 節でシステム要件, 4.3 節でシステムデザイン, 4.4 節でゲームのルール, 4.5 節で既存システムと提案システムから得られるデータついて説明する.

表 4.1: バリアフリーマップ作成のためのクラウドソーシングシステムの比較

システム/バリア情報収集方法	要求項目		
	歩きながらバリア情報を収集	エンターテインメント性	
[1, 2, 3, 24, 25, 26, 27, 28] [42]	<b>√</b> -	<u>-</u> ✓	
陣取りゲームをしながら 歩行データを収集する(提案手法)	<b>√</b>	<b>√</b>	

### 4.2 システム要件

提案システムは、適切にバリア検出を行えるような歩行データを収集できなければならないのと同時に、ユーザのモチベーションを維持できるようなゲーム性も備えていなければならない。これを実現するために満たすべき要件を、データの観点からの要件(Data requirements, DR)、ゲーム性の観点からの要件(Game requirements, GR)に分けて整理する [43].

データの観点からは、適切にバリア検出を行うためには、歩行データは次の要件を満たす必要があると考えられる.

- DR1. 健常者が現地を実際に歩行した際の歩行データである.
- DR2. 広範囲に渡る歩行データである.
- DR3. 1カ所に複数件の歩行データがあることが望ましい.

ゲーム性の観点では、Crawfordが次の要件を満たすべきであるとしている[44].

- GR1. 描写:ゲームの世界観を表現する必要がある.
- GR2. インタラクション:プレイヤの行動に応じて表現する内容を変化させる必要がある.
- GR3. 対立:プレイヤの目的達成に対して障害が必要である.
- GR4. 安全性:現実世界において危険が生じない必要がある.

### 4.3 システムデザイン

まず、データの観点の要件に基づいてゲームをデザインする。DR1を満たすゲームとして、本研究ではスマートフォンを用いた位置情報連動ゲームに着目した。これは、スマートフォンなどの携帯端末の位置情報を利用するゲームであり、スタンプラリー、謎解き、陣取りなど様々なタイプのものが存在するが、いずれも原則として実際に現地に赴くことが求められる。提案システムにおいては、スマートフォンをズボンのポケットに入れて現地を実際に歩行することをゲームのプレイ方法とすることで、DR1を満たせると考えられる。位置情報連動ゲームの中でDR2・DR3を満たしやすいのは、位置情報連動型陣取りゲームであると考えられる。これは、現実空間を移動することで、現実世界、あるいは、現実世界をベースとした仮想世界上の陣地を他ユーザと取り合うタイプのゲームである。世界 200 カ国以上で 2,000 万回以上ダウンロードされたものもあり [45][46]、多くのユーザに受け入れられるタイプであると言える。提案システムにおいては、現実世界上の陣地を取り合うゲームストーリとすることで、各ユーザは新たな陣地を求めて広範囲を歩いたり、ある陣地を何度も歩いて奪い合いを繰り返したりして、DR2・DR3 が満たされることが期待できる。

続いて、このゲームデザインに対して、ゲーム性の観点の要件に基づいて検証を行う. GR1 については、現実世界上の陣地を取り合うストーリによって、ゲームの世界観を表現できていると考えられる。GR2 については、各ユーザが現地を歩行することで陣地を獲得できるため、インタラクション性があると判断できる。GR3 については、各ユーザが陣地を取り合うストーリであるため、対立を提供できていると考えられる。GR4 については、スマートフォンをズボンのポケットに入れて歩くことが必要があり、スマートフォンを操作しながら歩くことではゲームプレイができないため、安全性が確保できていると言える。

### 4.4 ゲームのルール

4.3 節のデザインを具現化するためのゲームのルールを記載する. より詳細な情報は5章にて後述する.

- ユーザは2つのチームのどちらかに属する.
- ユーザは現実世界上に相手チームよりも大きい陣地を獲得することを目的とする.
- ユーザはスマートフォンをズボンのポケットに入れて歩行することで、歩行した場所を自チームの陣地として獲得できる.
- ユーザは陣地を1つ獲得するたびにスコアを1つ獲得できる.
- ユーザのスコアが高い順にランキングが作成される.
- ユーザ同士は自身で獲得した合計スコアで競い合う.

## 4.5 収集したデータの利用方法

前述のとおり、本ゲームで得られる歩行データはバリア検出ニューラルネットワーク [1][2][3][4] に入力され、バリアフリーマップなどを作成するために利用される.ここでは、ゲームから得られる歩行データとバリア検出タスクの関係を整理する.

ユーザが陣地獲得を行ったときに得られる歩行データは、歩行時の加速度、角速度、緯度・経度が一定サンプリングレートで記録されたものである。詳細は文献 [1][2][3][4] を参照されたい。

## 第5章 歩行による陣取りゲームの実装

### 5.1 システムの全体像

本提案システムとはクラウドソーシング型バリアフリーマップ構築プラットフォームであり、クライアント・サーバ型で実装する。クライアントは Android スマートフォン、サーバは一般的な PC を想定している。クライアント・サーバアプリケーションに利用した環境・アプリケーションを表 5.1 に示す。

システムの全体像を図 5.1 に示す. 本提案システムには 2 つの方式 (Walker・Gamer) を実装する. Walker とは、ゲーム要素が一切ない歩行データ収集用アプリケーションであり、歩行データを記録する方式である. Gamer とは、陣取りゲームのアプリケーションを用いて、ゲームをしながら歩行データを記録する方式である. ユーザは、本提案システム開始時にユーザ情報 (ユーザ ID・パスワード) を登録する. ユーザは 2 つの方式 (Walker・Gamer) を任意に選択して歩行データを記録する. 歩行データ記録に必要な加速度、角速度、緯度・経度は、Android OS が提供する API を用いて取得する.

以降, 5.2 節で Walker 方式 5.2.1 項でクライアントの Walker 画面, 5.3 節で Gamer 方式, 5.3.1 項でフィールド定義, 5.3.2 項で陣地獲得定義・方法, 5.3.3 項で Gamer 画面の 実装について説明する.

表 5.1: クライアント・サーバアプリケーションに利用した環境・アプリケーション

項目	クライアント	サーバ
OS	AndroidOS(バージョン 9.0 以上)	CentOS (8.2.2004)
使用言語	Java (バージョン 9.0.1)	Python $(\cancel{n}-\cancel{y} \exists \ \cancel{>}\ 3.6.1)$
データベース	-	SQLite (バージョン 3.7.17)

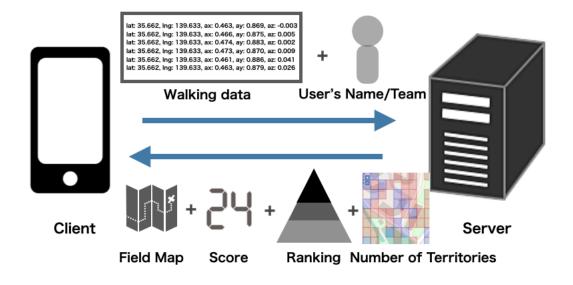


図 5.1: システムの全体像

### 5.2 Walker 方式

本提案システムの方式の1つのWalkerは、エンターテインメント要素が無い歩行データ収集アプリケーションであり、本研究では、提案方式のベースラインとして用意している.

#### 5.2.1 Walker 画面

図 5.2 に Walker 画面を示す. Walker 画面では位置情報である緯度・経度とセンサデータである加速度, 角速度が確認できる. ユーザは, 計測ボタンを1回押すことで歩行データを記録する開始することができる, もう一度計測ボタンを押すとシステムが収集した歩行データをサーバに送信する. ユーザは歩行データ計測を行うことで, 歩行した場所のデータを収集できる.



図 5.2: Walker 画面

### 5.3 Gamer 方式

本提案システムの方式の1つのGamerは、エンターテインメント要素がある歩行データ収集アプリケーションであり、本研究では、提案方式として用意している.

#### 5.3.1 フィールド定義

本研究で提案する陣取りゲームは、実世界をフィールドとする。フィールドを緯度、経度 0.0002 度ずつ格子状に分割した 1 つのマスをエリア (図 5.3) とし、ユーザがエリアを獲得することで陣地となる。エリアの大きさは縦 22m、横 18m である。

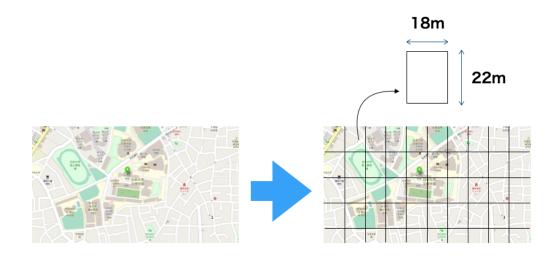


図 5.3: 実世界を格子状に分割したエリア\*

#### 5.3.2 陣地獲得定義·方法

ユーザは歩行データ計測を行うことで,歩行した場所を自チームの陣地として獲得できる。また,相手チームの陣地内で歩行データ計測を行うと当該陣地を自チームの陣地として獲得できる。ユーザが獲得した陣地に応じて,ユーザのランキング,獲得陣地数,スコア,フィールドマップが更新される。本提案システムにおいて,ユーザが陣地を獲得する方法は,1つのエリア内で5m 歩行することである。これにより,ユーザが5m 歩行したエリアを自チームの陣地として獲得できる(図5.4)。

本提案システムの Gamer において、ユーザ自身の近くで Gamer をやっているユーザがいない場合、4.2 節で説明したゲーム性の観点からの要件の GR3(対立)を満たすことができない。GR3 を満たすためには、実際に、ユーザ自身の近くで Gamer をやっているユーザがいない場合にも近くに Gamer をやっているユーザがいるように思わせる必要がある。このことから、本研究では、Non Player Character (NPC) を導入する。NPC は、ユーザが 10m 歩行することでユーザの近辺の陣地を相手チームの陣地として獲得する。上記により、本研究では、ユーザ自身の近くで Gamer をやっているユーザがいない場合にも、GR3 を満たすことができると考える。

<sup>\*</sup>OpenStreetMap. available from https://www.openstreetmap.org(accessed 2021-1-29)

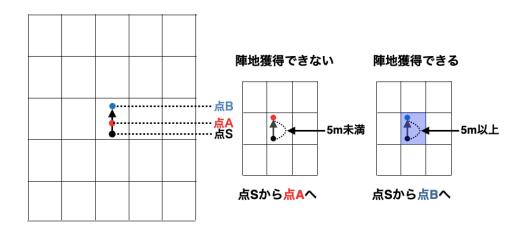


図 5.4: 陣地獲得方法

#### 5.3.3 Gamer 画面

図5.5に Gamer 画面を示す. Gamer 画面ではフィールドマップ、チームアイコン、スコア、獲得陣地数、ランキングが確認できる. フィールドマップでは、実世界の地図情報と各チームが獲得している陣地を確認できる. 実世界の地図情報は、OpenStreetMap から取得している. 獲得した陣地は、獲得したユーザの所属チームによって、色が塗られる. ユーザは2つのチーム (Red、Blue)のどちらかに属する. チームアイコンはユーザが属している上記の2つのどちらかのチームが表示される. スコアと陣地獲得数とランキングは、ユーザが陣地を獲得するたびに更新される. 計測ボタンを1回押すと、システムがユーザの歩行データを収集し始め、ユーザは陣地の獲得を行えるようになる. もう1度計測ボタンを押すと、システムが収集した歩行データをサーバに送信する. その際、ユーザは陣地獲得条件を満たしていれば、陣地を獲得することができる. このときユーザが獲得した陣地に応じて、フィールドマップ、スコア、陣地獲得数、ランキングが更新される.

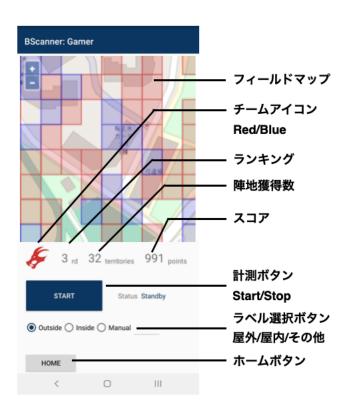


図 5.5: Gamer 画面

### 6.1 実験の目的

本研究では提案システム(Gamer)の歩行データ収集に対するユーザのモチベーションの維持・向上を狙っている。また、本研究で得られる歩行データは、バリア検出ニューラルネットワーク [1][2][3][4] に入力され、バリアフリーマップなどを作成するために利用されるため、適切にバリア検出を行えるような歩行データを収集できなければならない。[1][2][3][4] より、ベースラインシステムの Walker は適切にバリア検出を行えるような歩行データとする。そこで、Gamer でユーザが収集する歩行データも同質のデータであることを検証する必要がある。これらの観点から次の2つを実験の目的とする。

- 提案システム(Gamer)を用いて行うバリア情報収集はユーザのモチベーション維持・向上の効果に与える影響があるか
- ベースラインシステム (Walker) で計測した歩行データと提案システム (Gamer) で計測した歩行データの品質に差があるか

### 6.2 実験の概要

本実験の実験参加者は、健常者であり、研究室内の 20 代の学生 5 名である。本実験では、実験は下記のようなベースラインシステム(Walker)と提案システム(Gamer)の 2 システムの比較を行う。

- ベースラインシステム(Walker)5.2節で述べた歩行データ収集を行う.この行為はただ歩いて計測するという作業である.
- 提案システム(Gamer) 5.3節で述べた歩行データ収集を行う.この行為は陣取りゲームを行いながらただ歩いて計測するという作業ある.

本実験では、実験参加者は3日間各日でベースラインシステム(Walker)を用いたバリア情報収集を30分間の時間制限の中で行い、提案システム(Gamer)を用いたバリア情報収集も30分間の時間制限の中で行う。実験参加者には、地下などの通信環境が整っていない場所以外の屋内外で歩行データ収集を行ってもらう。実験開始前に実験者は実験参加者に対して、以下の実験シナリオを教示する。

- バリアとは:バリアとは移動弱者の移動を妨げるもののこと(例:松葉杖や車椅子の方などの自由な移動を妨げる可能性のあるスロープがついていない階段)
- バリアの問題:移動弱者は自由な移動を妨げる可能性のあるスロープがついていない階段などのバリアに遭遇してしまうと身動きが取れなくなってしまう

• バリアの種類・場所の特定をする利点:移動弱者は事前にバリア情報を知ることで 円滑な移動がしやすくなる

- ◆ 本実験の目標:バリア情報を事前に把握する手段として移動弱者のためのバリアフリーマップを作成する
- 本実験の説明:本実験ではバリアフリーマップ作成に必要なデータを集めるため実験参加者はBScanner アプリケーションの Walker/Gamer の 2 つの方式を使用してできるだけ多くバリア情報を収集してもらいます

ユーザが提案システム(Gamer)を用いたバリア情報収集に対するモチベーション維持・向上できたか測定するための評価指標としては、ユーザにモチベーションが維持できた程度を7段階で回答してもらうアンケートを用いる。ベースラインシステム(Walker)で計測した歩行データと提案システム(Gamer)で計測した歩行データの品質に差があるかの評価指標としては、Walkerと Gamer で計測した歩行データの時系列データの同質性を調べるためにデータの統計量や周波数領域における類似度をコサイン類似度を求めたものを用いる。

### 6.3 実験の手順

本実験では、実験参加者は3日間各日でベースラインシステム(Walker)を用いたバリア情報収集を30分間の時間制限の中で行い、提案システム(Gamer)を用いたバリア情報収集も30分間の時間制限の中で行う。実験参加者は両システムについて実験者が示した説明文を読み、納得するまで練習する。実験前にのみ実験者は実験参加者に対してバリアフリーマップを知っているか否か、使用したことがあるかに7段階で回答してもらう。実験前後共通で日常に訪れる場所のバリアの存在・位置を把握しているかに7段階で回答してもらう。30分間ずつ両システムのバリア情報収集を3日間終えた際にユーザにはモチベーションが維持できた程度を7段階で回答してもらう。各回とも、Step1~5に沿って実験を行った。実験参加者への質問と選択肢を表 6.1、表 6.2、表 6.3 に示す。

Step 1: 本実験ではバリアフリーマップ作成に必要なデータを集めるため実験参加者は 30 分間ずつ BScanner アプリケーションの Walker/Gamer の 2 つのシステムを使用してできるだけ多くバリア情報を収集して欲しい旨を教示する.

Step 2: 実験参加者は両システムについて実験者が示した説明文を読み、納得するまで練習する.

Step 3: 実験参加者は両システムのうち任意に1つ選択する.

**Step 4**: 実験参加者は、Step3 で選択したシステムを用いて、30 分間歩行データ収集を行う、歩行データを記録する場所は、自身で判断する.

Step 5:実験参加者は、Step3で選ばれなかった方式を用いて、Step4と同様の作業を行う.

表 6.1: 実験前のみの実験参加者への質問一覧

質問番号	質問内容
Q1	バリアフリーマップを知っている
	1: そう思わない ~ 7: そう思う
Q2	バリアフリーマップを使用している
	1: そう思わない ~ 7: そう思う バリアフリーマップを使用している 1: そう思わない ~ 7: そう思う

表 6.2: 実験後のみの実験参加者への質問一覧

質問番号	質問內容
Q1	計測行為は楽しいと感じましたか?
	$1$ : 感じなかった $\sim 7$ : とても感じた
Q2	計測行為は有意義と感じましたか?
	$1$ : 感じなかった $\sim$ $7$ : とても感じた
Q3	計測行為に没頭できたと感じましたか?
	$1$ : 感じなかった $\sim$ $7$ : とても感じた
Q4	計測行為をまたやりたいと感じましたか?
	$1$ : 感じなかった $\sim$ $7$ : とても感じた
$Q_5$	継続してこれからも計測行為をしたいと感じましたか?
	1: 感じなかった ~ 7: とても感じた
Q6	Gamer をプレイしていて,現実世界上の陣地を取り合うストーリーはゲームの世界観を表現できていると感じましたか?
	1: 感じなかった ~ 7: とても感じた
Q7	Gamer をプレイしていて,ユーザ自身が歩くたびに陣地が獲得できていたと感じましたか?
	1: 感じなかった ~ 7: とても感じた
Q8	Gamer をプレイしていて,他のプレイヤと陣地を取り合っていると感じましたか?
	1: 感じなかった ~ 7: とても感じた
Q9	Gamer をプレイしていて,安全性が確保されていると感じましたか?
	1: 感じなかった ~ 7: とても感じた
Q10	その他に気づいたことや意見があれば
	自由記述

表 6.3: 実験前後の共通の実験参加者への質問一覧

質問番号	質問内容
Q1	日常的に訪れる場所のバリアの存在・位置を把握している
·	1: そう思わない ~ 7: そう思う
Q2	日常的に訪れる場所はバリアフリー化が進んでいる
	1: そう思わない ~ 7: そう思う
Q3	公共空間(日常的に訪れるか否かは問わない)のバリアフリー化は喫緊の課題である
	1: そう思わない ~ 7: そう思う

## 6.4 実験結果

全実験参加者の 3 日間の Walker と Gamer を用いて計測した周波数領域における歩行データ(加速度 ax, ay, az)を図  $6.1\sim6.45$  に示す.Walker を用いて計測した歩行データと Gamer を用いて計測した歩行データの類似度計算について述べる.Walker を用いて計測した歩行データと Gamer を用いて計測した歩行データが同質か否かを調べるために,類似度の算出にはコサイン類似度を用いる.Walker を用いて計測した歩行データのスペ

クトルのベクトルを A, Gamer を用いて計測した歩行データのスペクトルのベクトルを B としたとき、コサイン類似度を用いて求めた類似度スコアを  $\cos \theta$  とする.

$$\cos \theta = \frac{A \cdot B}{\sqrt{A \cdot A} \sqrt{B \cdot B}} \tag{6.1}$$

全実験参加者の1日目、2日目、3日目の加速度ax, ay, azのコサイン類似度の結果をそれぞれ図 $6.46\sim6.54$ に示す。3日間の全実験参加者のWalker, Gamerを用いて計測した歩行データの加速度ax, ay, azのコサイン類似度による類似度スコアを表6.4に示す。

実験参加者・実験期間	加速度 ax	加速度 ay	加速度 az
A · Day1	0.68	0.61	0.65
$A \cdot Day2$	0.51	0.64	0.73
$A \cdot Day3$	0.69	0,81	0,81
$B \cdot Day1$	0.44	-0.28	0.44
$B \cdot Day2$	0.80	0.85	0.79
$B \cdot Day3$	0.05	0.89	0.87
$C \cdot Day1$	0.15	0.53	0.13
$C \cdot Day2$	0.62	0.71	0.61
$C \cdot Day3$	0.91	0.92	0.88
$D \cdot Day1$	0.17	0.56	0.40
$D \cdot Day2$	0.40	0.55	0.48
$D \cdot Day3$	0.41	0.54	0.57
$E \cdot Day1$	0.82	0.97	0.81
$\mathbf{E} \cdot \mathbf{Day2}$	0.83	0.95	0.94
$E \cdot Day3$	0.89	0.97	0.95

表 6.4: 全実験参加者の 3 日間の加速度 ax, av, az のコサイン類似度

実験前、実験後、実験前後のアンケート結果をそれぞれ図  $6.55\sim6.56$ ,  $6.57\sim6.65$ ,  $6.66\sim6.68$  に示す。実験前の Q1 では 7 段階評価のうち 5 以上を答えた実験参加者は 80%となった。実験前の Q2 では 7 段階評価のうち 1 と答えた実験参加者は 100%となった。実験後の Q1 では 7 段階評価のうち 5 以上を答えた実験参加者は Walker では 20%, Gamer では 80%となった。実験後の Q2 では 7 段階評価のうち 5 以上を答えた実験参加者は Walker では 80%, Gamer では 80%となった。実験後の Q3 では 7 段階評価のうち 5 以上を答えた実験参加者は Walker では 80%, Gamer では 80%となった。実験後の Q4 では 7 段階評価のうち 5 以上を答えた実験参加者は Walker では 40%, Gamer では 80%となった。実験後の Q5 では 7 段階評価のうち 5 以上を答えた実験参加者は Walker では 40%, Gamer では 20%, Gamer では 60%となった。実験後の Q6 では 7 段階評価のうち 5 以上を答えた実験参加者は 40%となった。実験後の Q8 では 7 段階評価のうち 5 以上を答えた実験参加者は 0%となった。実験後の Q9 では 7 段階評価のうち 5 以上を答えた実験参加者は 0%となった。実験後 Q3 で 0.513,実験後 Q4 で 0.223,実験後 Q5 で 0.223 となり,有意差は確認できなかった。

実験前後の Q1 では7段階評価のうち5以上を答えた実験参加者は実験前では 40%, 実験後では 60%となった.実験前後の Q2 では7段階評価のうち5以上を答えた実験参加者は実験前では 20%, 実験後では 33%となった.実験前後の Q3 では7段階評価のうち5以上を答えた実験参加者は実験前では 60%, 実験後では 80%となった.ウィルコクソンの符号付順位和検定を行ったところ,p値は実験前後 Q1 で 0.223, 実験前後 Q2 で 0.938, 実験前後 Q3 で 0.127となり,有意差は確認できなかった.

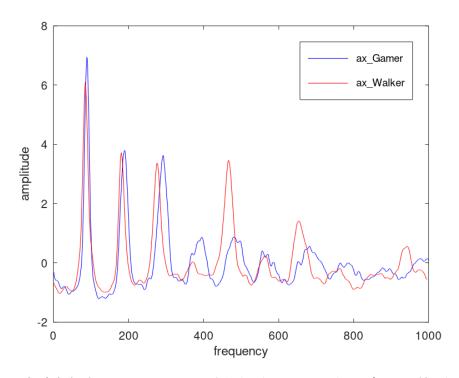


図 6.1: 実験参加者 A の 1 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 ax)

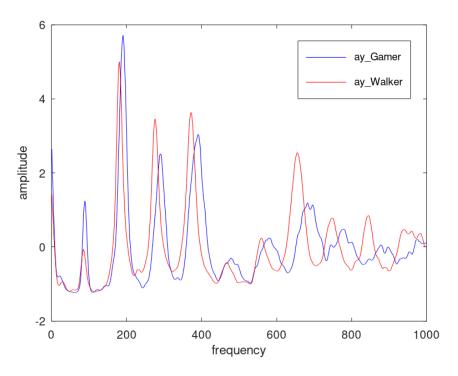


図 6.2: 実験参加者 A の 1 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 ay)

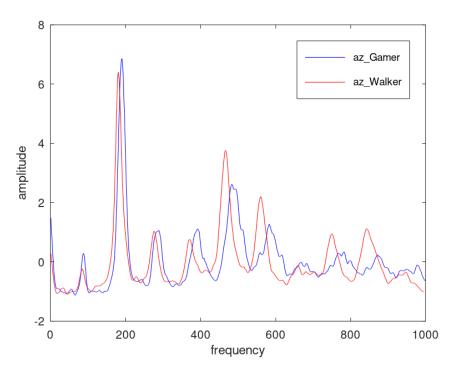


図 6.3: 実験参加者 A の 1 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 az)

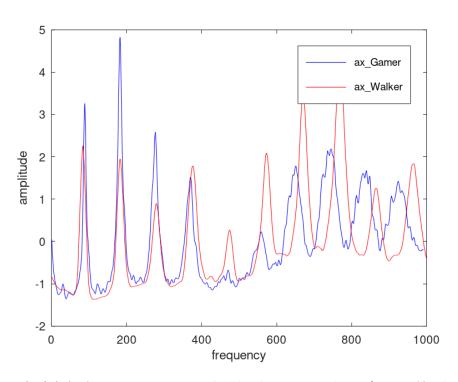


図 6.4: 実験参加者 A の 2 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 ax)

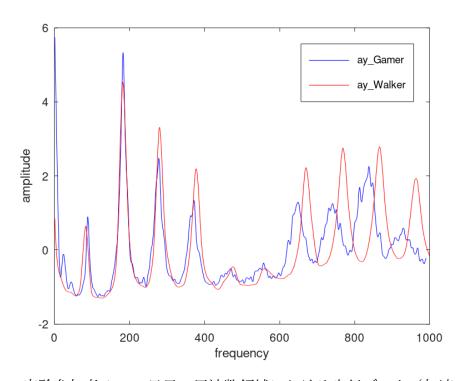


図 6.5: 実験参加者 A の 2 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 ay)

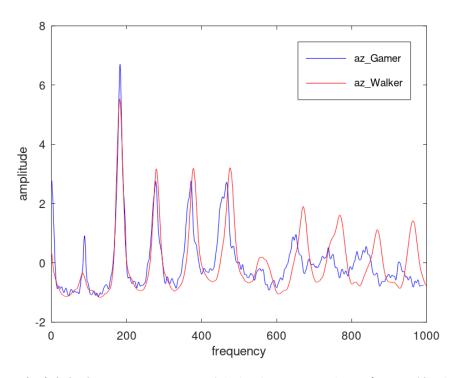


図 6.6: 実験参加者 A の 2 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 az)

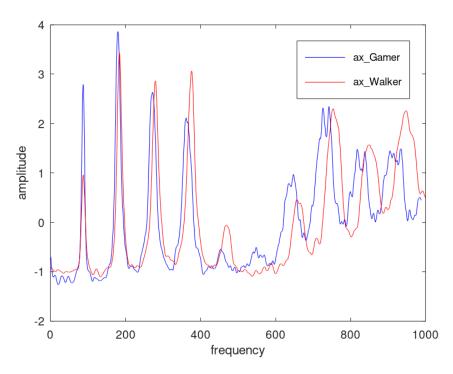


図 6.7: 実験参加者 A の 3 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 ax)

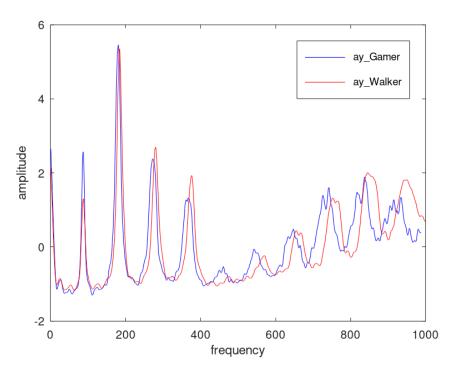


図 6.8: 実験参加者 A の 3 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 ay)

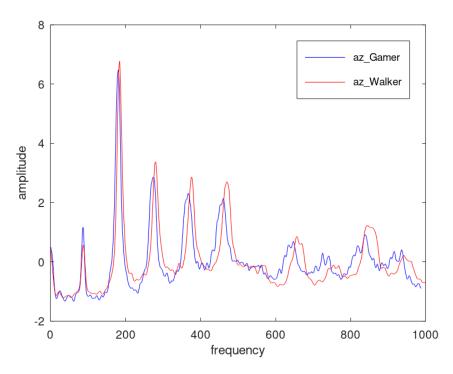


図 6.9: 実験参加者 A の 3 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 az)

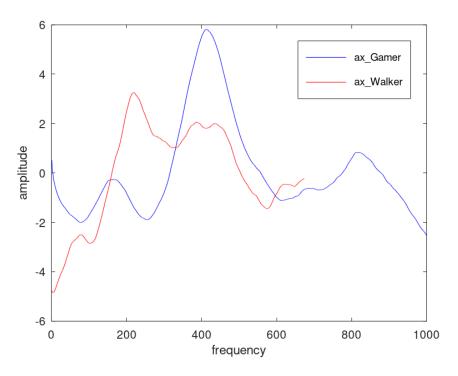


図 6.10: 実験参加者 B の 1 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ax)

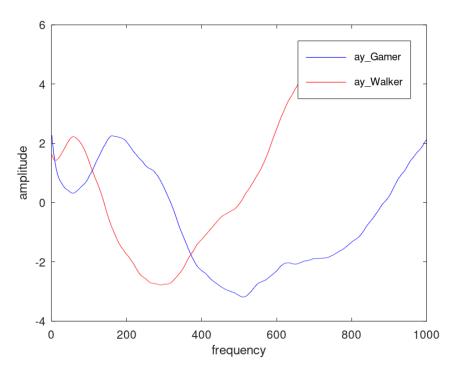


図 6.11: 実験参加者 B の 1 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 ay)

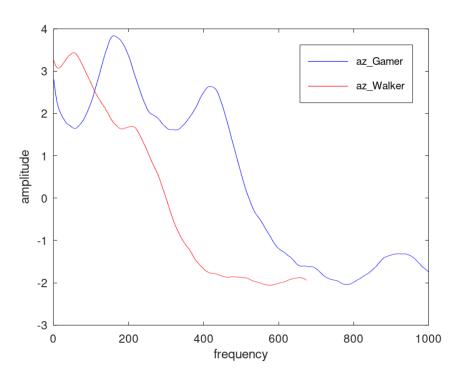


図 6.12: 実験参加者 B の 1 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 az)

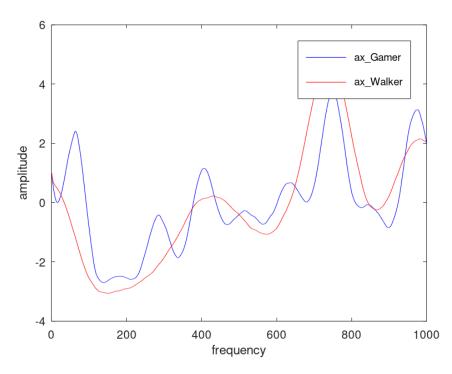


図 6.13: 実験参加者 B の 2 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 ax)

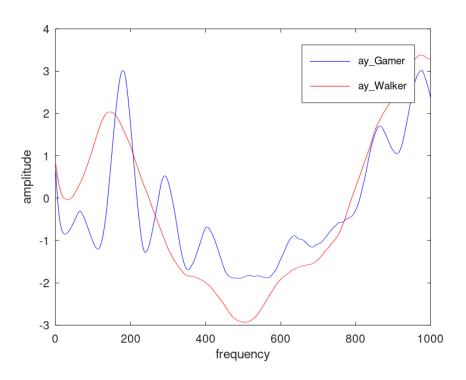


図 6.14: 実験参加者 B の 2 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ay)

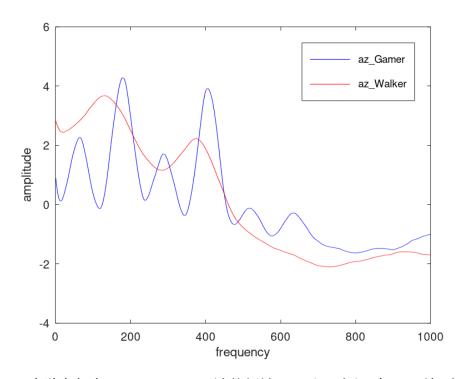


図 6.15: 実験参加者 B の 2 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 az)

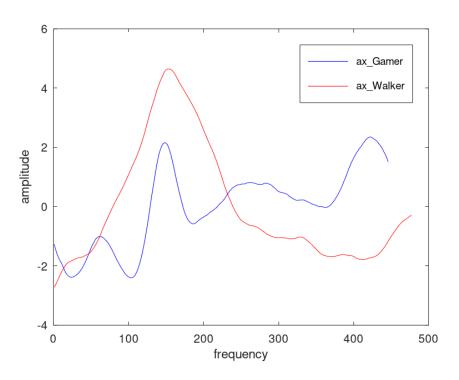


図 6.16: 実験参加者 B の 3 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ax)

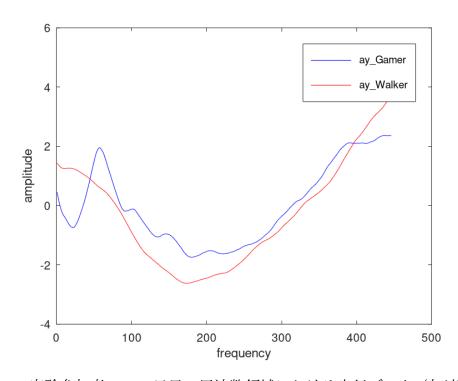


図 6.17: 実験参加者 B の 3 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 ay)

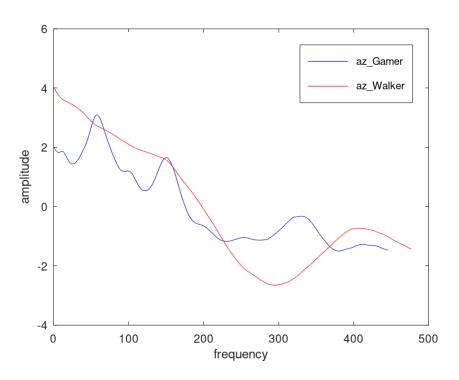


図 6.18: 実験参加者 B の 3 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 az)

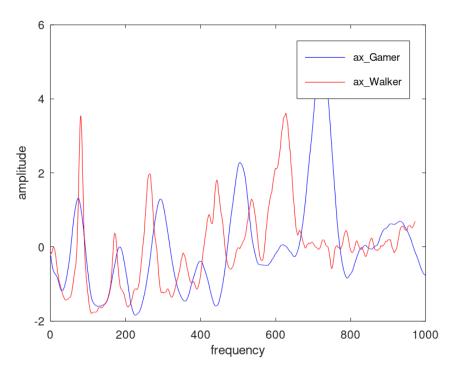


図 6.19: 実験参加者 C の 1 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 ax)

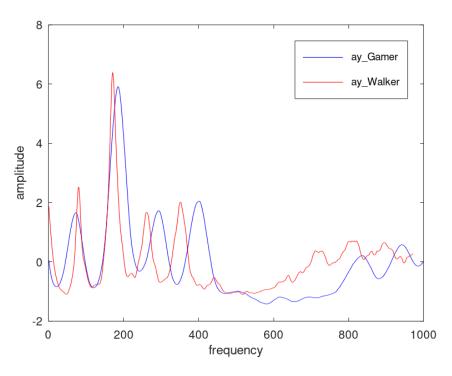


図 6.20: 実験参加者 C の 1 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ay)

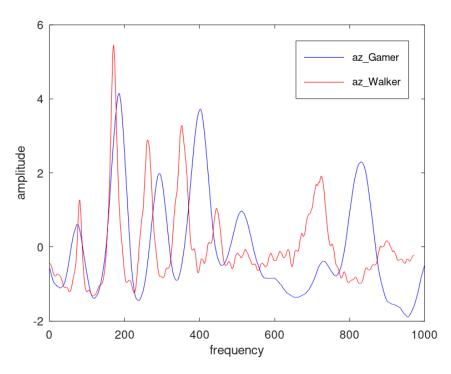


図 6.21: 実験参加者 C の 1 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 az)

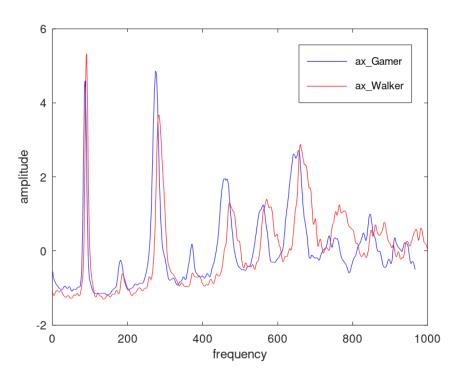


図 6.22: 実験参加者 C の 2 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ax)

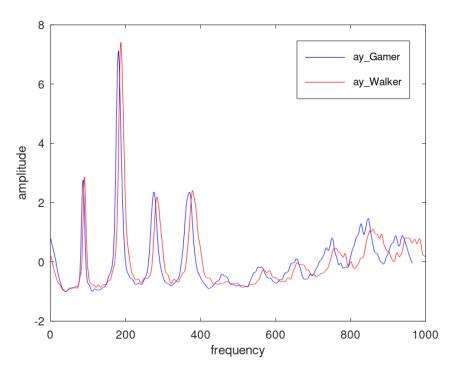


図 6.23: 実験参加者 C の 2 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 ay)

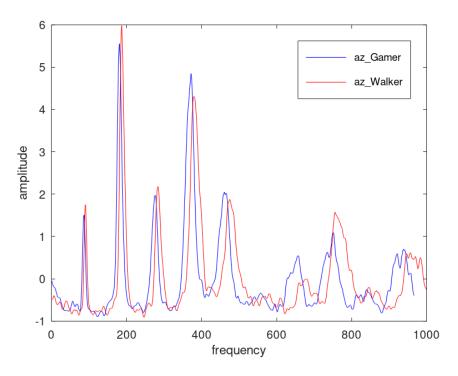


図 6.24: 実験参加者 C の 2 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 az)

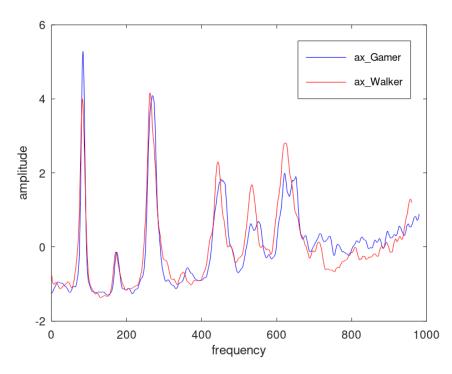


図 6.25: 実験参加者 C の 3 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 ax)

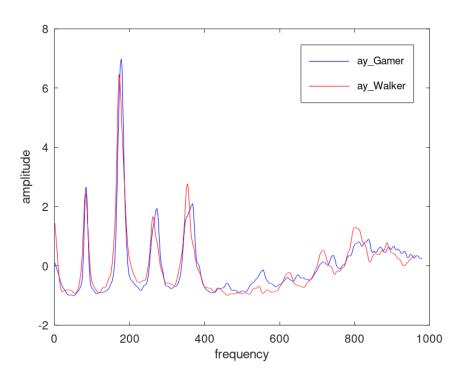


図 6.26: 実験参加者 C の 3 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ay)

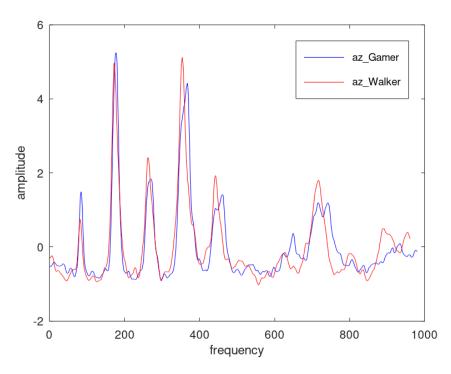


図 6.27: 実験参加者 C の 3 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 az)

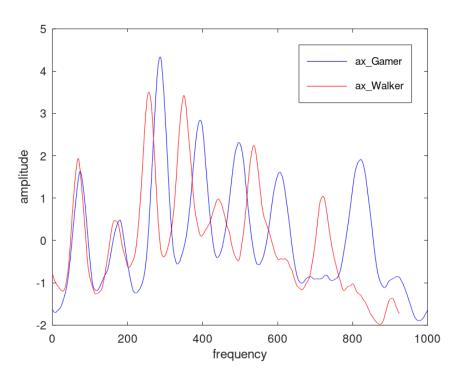


図 6.28: 実験参加者 D の 1 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ax)

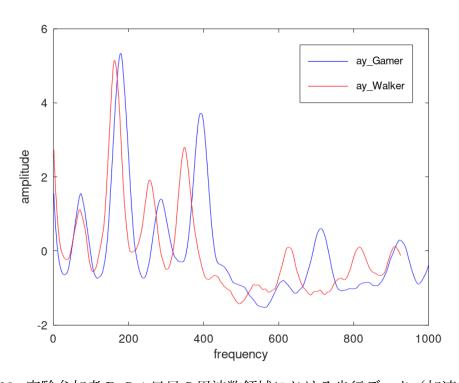


図 6.29: 実験参加者 D の 1 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 ay)

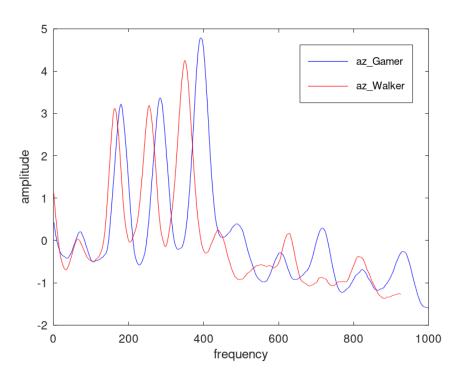


図 6.30: 実験参加者 D の 1 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 az)

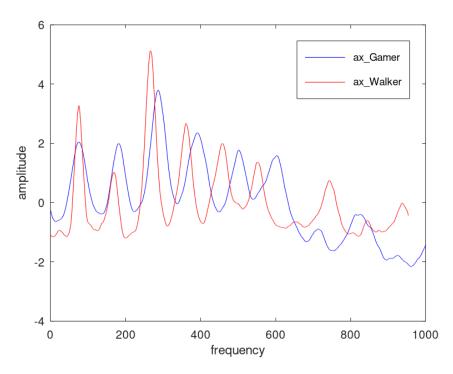


図 6.31: 実験参加者 D の 2 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 ax)

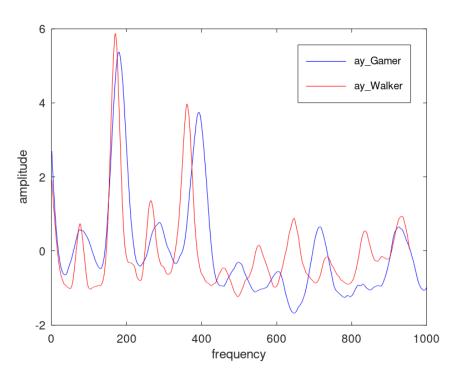


図 6.32: 実験参加者 D の 2 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ay)

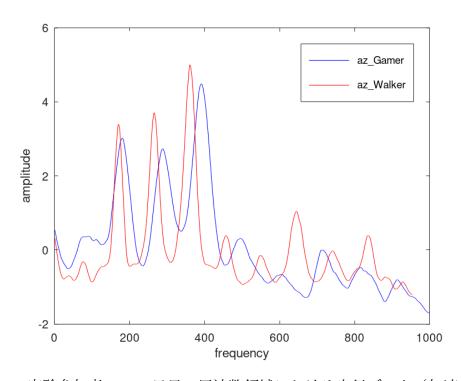


図 6.33: 実験参加者 D の 2 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 az)

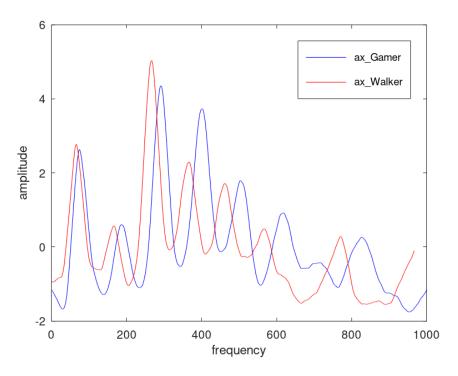


図 6.34: 実験参加者 D の 3 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ax)

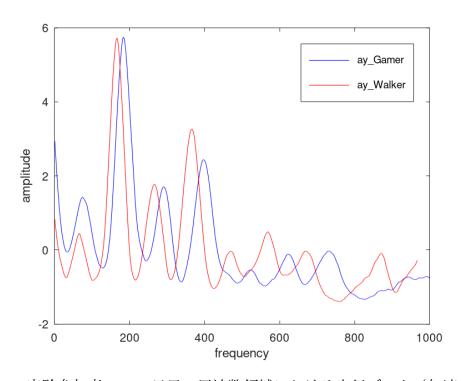


図 6.35: 実験参加者 D の 3 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 ay)

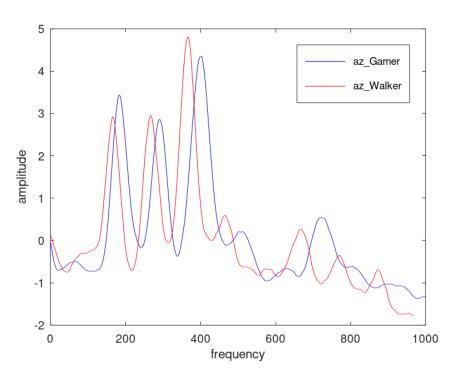


図 6.36: 実験参加者 D の 3 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 az)

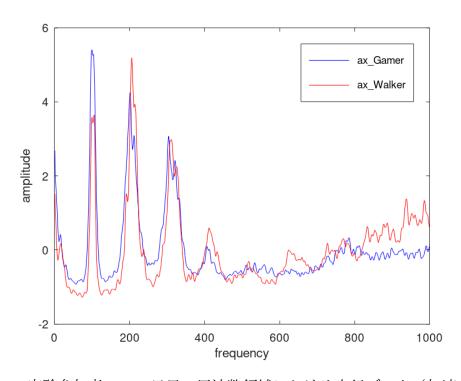


図 6.37: 実験参加者 E の 1 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 ax)

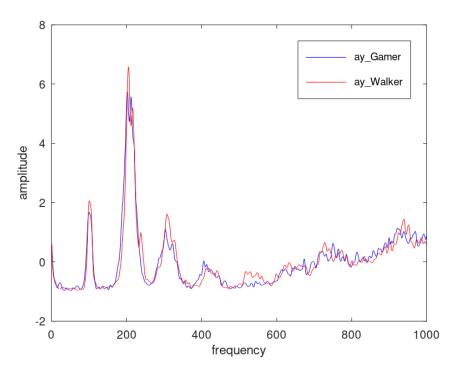


図 6.38: 実験参加者 E の 1 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ay)

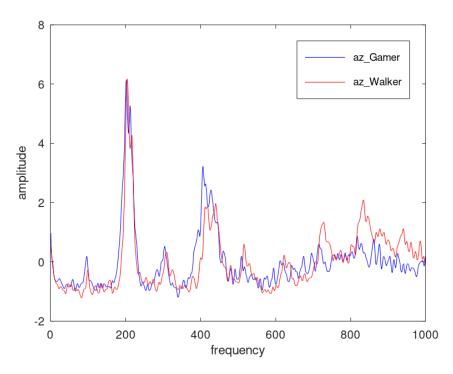


図 6.39: 実験参加者 E の 1 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 az)

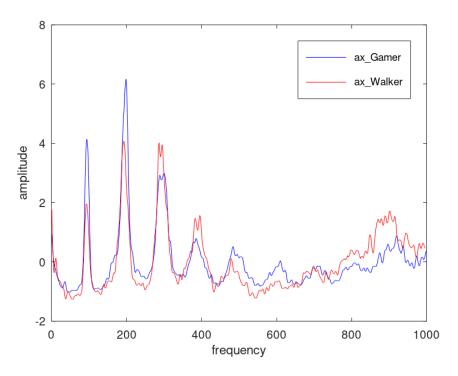


図 6.40: 実験参加者 E の 2 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 ax)

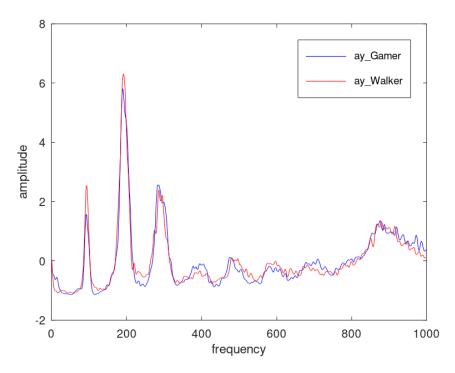


図 6.41: 実験参加者 E の 2 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 ay)

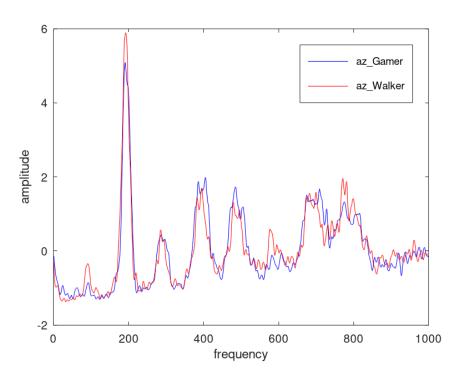


図 6.42: 実験参加者 E の 2 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 az)

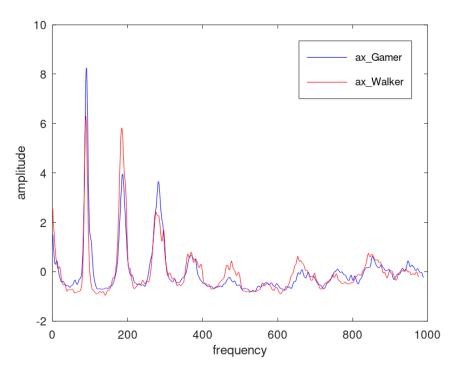


図 6.43: 実験参加者 E の 3 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ax)

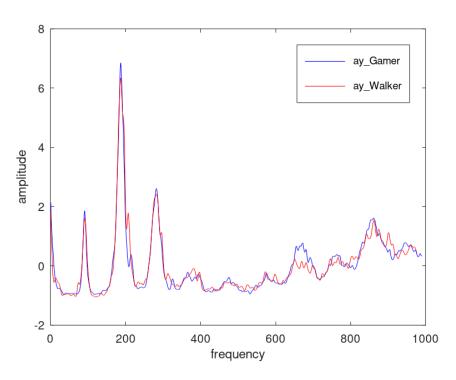


図 6.44: 実験参加者 E の 3 日目の周波数領域における歩行データ(加速度 ay)

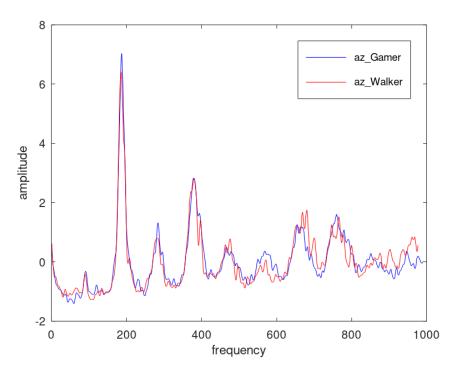


図 6.45: 実験参加者 E の 3 日目の周波数領域における歩行データ (加速度 az)

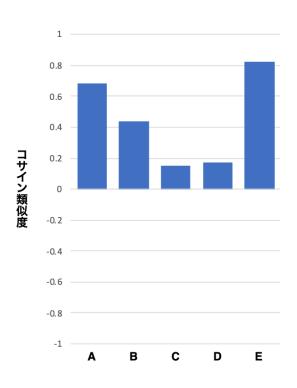


図 6.46: 全実験参加者の1日目の加速度 ax のコサイン類似度

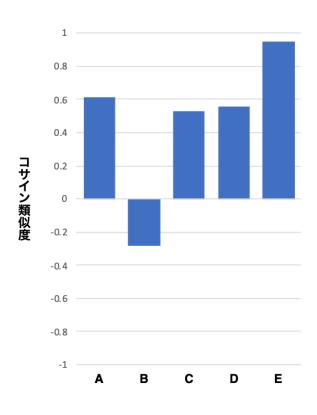


図 6.47: 全実験参加者の1日目の加速度 ay のコサイン類似度

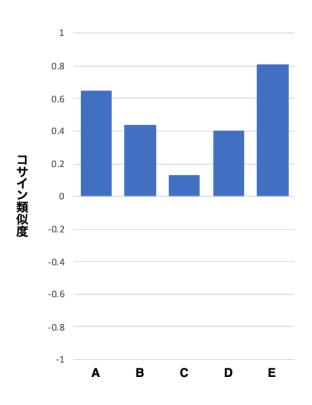


図 6.48: 全実験参加者の1日目の加速度 az のコサイン類似度

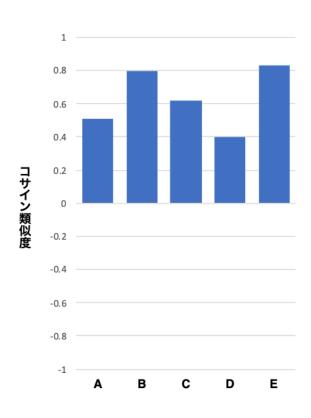


図 6.49: 全実験参加者の 2 日目の加速度 ax のコサイン類似度

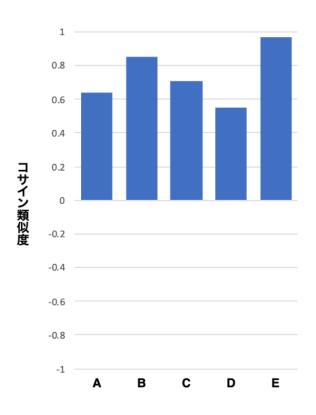


図 6.50: 全実験参加者の 2 日目の加速度 ay のコサイン類似度

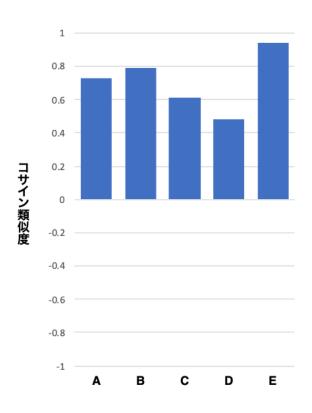


図 6.51: 全実験参加者の2日目の加速度azのコサイン類似度

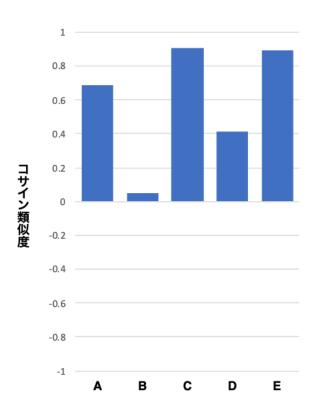


図 6.52: 全実験参加者の 3 日目の加速度 ax のコサイン類似度

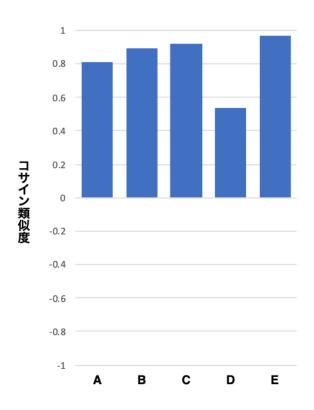


図 6.53: 全実験参加者の 3 日目の加速度 ay のコサイン類似度

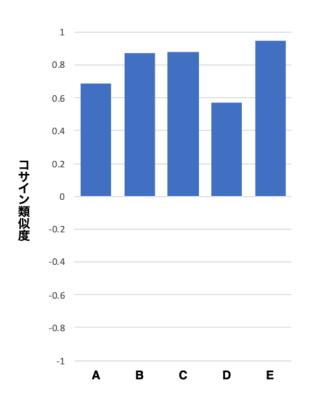


図 6.54: 全実験参加者の 3 日目の加速度 az のコサイン類似度

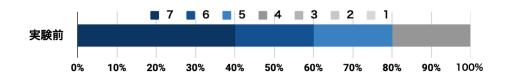


図 6.55: 実験前: Q1. バリアフリーマップを知っている(1: そう思わない~7: そう思う)  $({\rm N=5})$ 

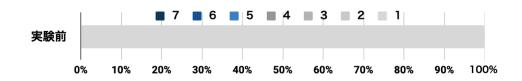


図 6.56: 実験前: Q2. バリアフリーマップを使用している (1: そう思わない~7: そう思う) (N=5)

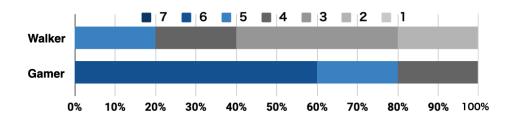


図 6.57: 実験後: Q1. 計測行為は楽しいと感じましたか?(1: 感じなかった $\sim$ 7: とても感じた)(N=5)

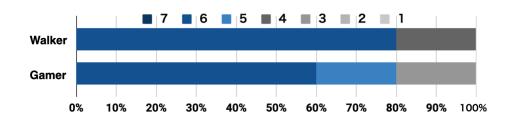


図 6.58: 実験後: Q2. 計測行為は有意義と感じましたか?(1: 感じなかった $\sim$ 7: とても感じた)(N=5)

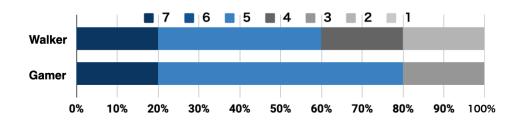


図 6.59: 実験後: Q3. 計測行為に没頭できたと感じましたか?(1: 感じなかった~7: とても感じた) (N=5)

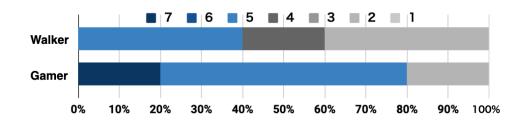


図 6.60: 実験後: Q4. 計測行為をまたやりたいと感じましたか? (1: 感じなかった $\sim$ 7: とても感じた) (N=5)

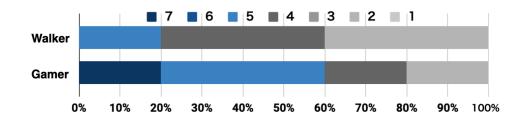


図 6.61: 実験後: Q5. 継続してこれからも計測行為をしたいと感じましたか?(1: 感じなかった $\sim$ 7: とても感じた)(N=5)

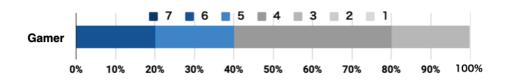


図 6.62: 実験後: Q6. Gamer をプレイしていて、現実世界上の陣地を取り合うストーリーはゲームの世界観を表現できていると感じましたか? (1: 感じなかった~7: とても感じた) (N=5)

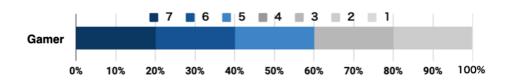


図 6.63: 実験後: Q7. Gamer をプレイしていて、ユーザ自身が歩くたびに陣地が獲得できていたと感じましたか?(1: 感じなかった $\sim$ 7: とても感じた) (N=5)

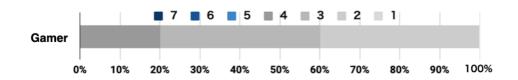


図 6.64: 実験後: Q8. Gamer をプレイしていて、他のプレイヤと陣地を取り合っていると感じましたか?(1: 感じなかった~7: とても感じた)(N=5)

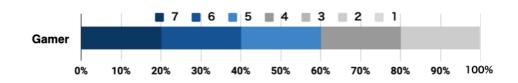


図 6.65: 実験後: Q9. Gamer をプレイしていて、安全性が確保されていると感じましたか? (1: 感じなかった~7: とても感じた) (N=5)

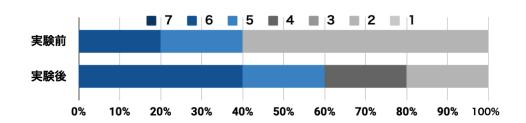


図 6.66: 実験前後: Q1. 日常的に訪れる場所のバリアの存在・位置を把握している (1: そう思わない~7: そう思う) (N=5)

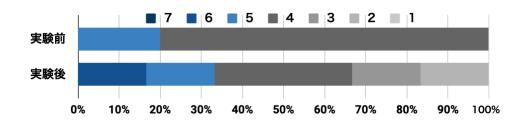


図 6.67: 実験前後: Q2. 日常的に訪れる場所はバリアフリー化が進んでいる(1: そう思わない $\sim$ 7: そう思う)(N=5)

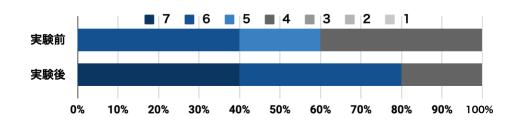


図 6.68: 実験前後: Q3. 公共空間(日常的に訪れるか否かは問わない)のバリアフリー化は喫緊の課題である(1: そう思わない $\sim$ 7: そう思う)(N=5)

## 6.5 考察

ベースラインシステム(Walker)で計測した歩行データと本提案システム(Gamer)で計測した歩行データの品質について考察する。本実験では、周波数領域における 2 つのスペクトルの比較のためにコサイン類似度を用いた。コサイン類似度は-1以上 1 以下の値を取る。コサイン類似度が 1 に近いと 2 本のベクトルは同じ向きに近く、コサイン類似度が-1 に近いと 2 本のベクトルは逆向きに近い。3 日間全ての実験参加者の加速度 ax, ay, az のコサイン類似度を見ると、コサイン類似度が 0.5 よりの高い群( $A \cdot E$ ),0.5 以下の低い群( $B \cdot C \cdot D$ )に分かれた。本実験において、コサイン類似度が高い群( $A \cdot E$ )の加速度 ax, ay, ax の ax, ax, ax の ax, ax, ax の ax, ax, ax の ax, ax, ax, ax の ax, ax,

Gamer を用いて行うバリア情報収集はユーザのモチベーション維持・向上の効果に与える影響があるかについて考察する.図 6.57~6.61 を見ると、Walker と比べ、Gamer の方がモチベーション維持・向上に効果があったという結果になったが有意差は見られなかった.このことから、本実験においては提案システムはユーザのモチベーション維持・向上に効果を与える可能性があると示唆されたと言及するにとどめる.結果1を見ると、両システムともに7段階評価が低い実験参加者 A を除き、本提案システムを用いることで計測行為の没頭感は高まることが分かる.実験参加者 A については計測行為にあまり没頭できなかったと回答したという結果となったが、これは実装設計に起因する事象であることが分かった.具体的には、本提案システムは実装上、実験参加者に対して以下のように伝えている.

• (1) バリア情報を収集している最中に立ち止まってしまう際, スマートフォンをポケットから取り出し収集行為を中断してください.

中断する際, それまでに収集したバリア情報をサーバー上にアップロードする工程もある. 実験参加者 A がバリア情報収集を行った場所は信号がある場所であり, 信号待ちを

する度バリア情報収集の作業を中断し、(1) の作業とバリア情報をアップロードする作業を行っていた。これに加え、実験には1時間という制約があった。これらのことから実験参加者 A は計測行為に対して没頭感を感じにくかったことが考えられる。自由記述欄にて同様の意見があったことも確認した。本システムの Gamer では(1)の作業とバリア情報をアップロードする作業を行うことで陣地が獲得できるよう設計している。しかし、1時間でバリア情報収集するというのは今回の実験でのみのため、日常生活中で本システムを使用してもらう際にはこのようなルールは無い。上記をふまえると、本システムを使用することで計測行為に対して没頭感が得られる可能性があると示唆されたと言及するにとどめる。

結果2を見ると、変わらなかった実験参加者 C、D を除き、実験後の方が7段階評価は高くなっていることが分かる。実験参加者 C については元々バリアの存在・位置を把握していなく、実験後も新しいバリアは把握できなかったという結果となったが、これは実験設計に起因する事象であることが分かった。具体的には、実験参加者 C はバリア情報収集を1時間という少ない時間で行うという指示であるため、見知った場所でバリア情報収集を行ってしまった。しかし、1時間でバリア情報収集するというのは今回の実験でのみのため、日常生活中で本システムを使用してもらう際にはこのようなルールは無い。上記をふまえると、本システムを使用することで新しいバリアの存在・位置を把握する可能性があると考える。

GR の要件を満たせているかを考察する.  $\boxtimes 6.63$ , 6.65 において, 7段階評価のうち 5 以上を答えた実験参加者が多かったことから、GR2のインタラクション、GR4の安全性 に関して Gamer は満たせている可能性があると考える.  $\boxtimes 6.62$ , 6.64 において, 7段階 評価のうち5以上を答えた実験参加者が少なかったことから,GR1 の描写,GR4 の対立 に関して Gamer は満たせていないという結果になった. GR1 は実験設計に起因する事象 であることが分かった. 具体的には 3 日間各日 30 分間で Gamer を使用しなかったため, 現実世界上の陣地を取り合っている感覚を得られなかった可能性があると考える.しか し,3日間各日30分間でGamerを使用するというのは今回の実験でのみのため,日常生 活中で本システムを使用してもらう際にはこのようなルールは無い、上記をふまえると、 Gamer を使用することで GR1 を満たせる可能性があると考える. GR4 は実装・実験設 計に起因する事象であることが分かった. 具体的には Gamer では, ユーザが 10m 歩行す ることでユーザの近辺の陣地を相手チームの陣地として獲得する Non Player Character (NPC) も実装しているが、実験において3日間各日30分間でしか本提案システムGamer を使用していなく,NPC の陣地獲得はあまり見られなかった.しかし,3 日間各日 30 分 間で Gamer を使用するというのは今回の実験でのみのため、日常生活中で本システムを 使用してもらう際にはこのようなルールは無い. 上記をふまえると, Gamer を使用する ことでGR3を満たせる可能性があると考える.

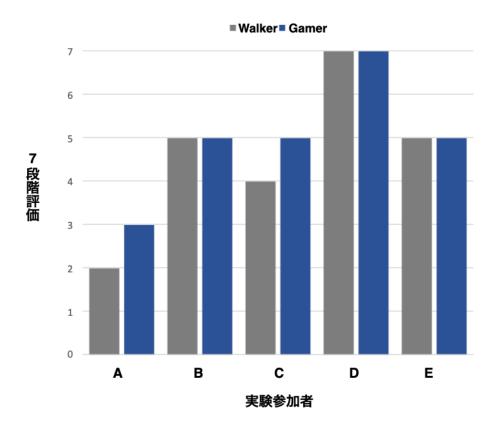


図 6.69: 実験後: Q3. 計測行為に没頭できたと感じましたか?(1: 感じなかった~7: とても感じた)(結果 1)(N=5)

第6章 評価実験 65

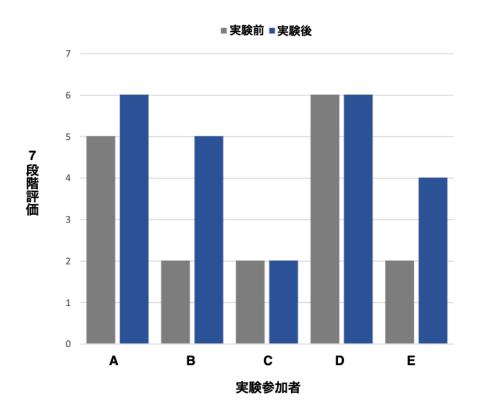


図 6.70: 実験前後: Q1. 日常的に訪れる場所のバリアの存在・位置を把握している (1: そう思わない $\sim$ 7: そう思う) (結果 2) (N=5)

# 第7章 結論

第7章 結論 67

先行研究では、高精度・実用的に屋内外のバリアの存在・種別を推定する方式を提案し てきた. しかし, このアプローチには, ユーザの歩行データ収集に対するモチベーション を維持することが困難であるという問題があった、具体的には、ある地点のバリア検出を 行うためには現地を実際に歩いた際の歩行データが必要であるが、歩行データを計測・提 供するユーザ自身には直接的なメリットが無いため、彼らは歩行データ収集を行うことに 意欲を感じにくいと思われる. バリア検出精度を高めるためには, 同じ地点において複数 件の歩行データが存在することが望ましいが、ユーザは同じところを何度も歩くという 手間がかかる作業に対して一層意欲を感じにくいと考えられる.この問題を解決するた めに、本研究では、ユーザの歩行データ収集に対するモチベーションを維持・向上するた めに、ゲーミフィケーションを用いた歩行データ収集システムを提案した. 提案システム は、収集すべきデータの観点からの要件と、ゲーム性の観点からの要件の両方を満たすよ うに設計した. また, ベースラインシステム(Walker)と提案システム(Gamer)の実装 を行った. 提案システムの有用性を確認するためのベースラインシステム(Walker)と提 案システム(Gamer)との比較実験では、提案システム(Gamer)を用いて行うバリア情 報収集はユーザのモチベーション維持・向上の効果に与える影響があるかについては、実 験参加者数・実験時間の制約により、効果を一概に論じることができなかった. 今後は、 実験参加者数・実験時間を増やし、ユーザのモチベーション維持・向上の効果に普遍性が あるか否かの検証を継続する必要がある. ベースラインシステム(Walker)で計測した 歩行データと提案システム (Gamer) で計測した歩行データの品質に差があるかについて は、実験参加者数・実験時間に制約を設けた場合において実験参加者が計測した多くの歩 行データにおいては同質性が高いことが期待できた. Crawford 氏の要件は1984年に定義 されたものであるため、最新のゲーム性に対しても、本GRの4つの要件が過不足ないか の調査を継続していく必要がある.

なお、提案システムにはいくつか制約が残っている。まず、我々のバリア検出システム [1][2][3][4] はズボンのポケットに入れたスマートフォンで計測した加速度・角速度が入力 されることを前提としているため、提案システムにおいてもズボンのポケットにスマートフォンを入れて歩行する必要がある。このため、ポケットのあるズボンを履かないユーザには利用できないという制約がある。この点は、スマートフォンの位置をユーザに入力してもらうことで、胸ポケットやカバンの中などの任意位置にスマートフォンがあっても、計測された加速度・角速度データをスマートフォンの位置に応じて修正するアプローチを導入することで解決できると考えられる。

上記の制約の克服に加え、いくつか今後の課題を述べる。まず、バリアがあるかないか分からない場所へユーザに意欲的に行ってもらえるような仕組みが必要である。我々は、陣地が作成されていないエリアに新規に陣地を作成するとメリットがあるようなルールを導入することを考えている。具体案として、"新規に陣地を作成する場合、ユーザが獲得できるポイントを高くする"、"ユーザがどれだけ新規に陣地を獲得したかのランキングを作る"などが挙げられる。

今回の実験は実験参加者が5人、期間が3日間で行ったため、今後はより実験参加者の

第7章 結論 68

人数を増やし、長期間の実験を行った上で、ゲーミフィケーションを取り入れることは、 ユーザの歩行データ収集に対するモチベーションを維持することに影響を及ぼすかを検証 していく予定である.

- [1] 宮田章裕, 王統順, 荒木伊織, 篠崎涼太. 健常歩行者センサデータからのバリア検出のための屋内外別機械学習方式. 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 9, pp. 1774–1782, 2018.
- [2] A. Miyata, I. Araki, and T. Wang. Barrier detection using sensor data from unimpaired pedestrians. In *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 10908, pp. 308–319, 2018.
- [3] 宮田章裕, 荒木伊織, 王統順, 鈴木天詩. 健常歩行者センサデータを用いたバリア検出の基礎検討. 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 1, pp. 22–32, 2018.
- [4] A. Miyata, K. Okugawa, Y. Yamato, T. Maeda, Y. Murayama, M. Aibara, M. Furuichi, and Y. Murayama. A crowdsourcing platform for constructing accessibility maps supporting multiple participation modes. *Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '21)*, 2021.
- [5] 国土交通省. 歩行空間ネットワークデータ整備仕様案. 2018.
- [6] Sozialhelden e.v. wheelmap. available from http://wheelmap.org (accessed 2018-10-27).
- [7] T. Miura, K. Yabu, S. Ikematsu, A. Kano, M. Ueda, J. Suzuki, M. Sakajiri, and T. Ifukube. Barrier-free walk: A social sharing platform of barrier-free information for sensory/physically-impaired and aged people. In *Proc. SMC'12*, pp. 2927–2932, 2012.
- [8] 山本千尋, 船越要, 小長井俊介, 小西宏志, 川野辺彰久. 歩行者移動支援のためのバリアフリー関連情報収集手法の提案. Vol. 116, No. 23, pp. 39-44, 2016.
- [9] 山本千尋, 船越要, 小長井俊介, 小西宏志, 川野辺彰久. バリアフリーマップをソーシャルにつくる技術の開発. NTT 技術ジャーナル 2016 年 5 月号, pp. 21–24, 2016.
- [10] K. Hara, V. Le, and J.E. Froehlich. Combining crowdsourcing and google street view to identify street-level accessibility problems. In *Proc. CHI'13*, pp. 631–640, 2013.

[11] A. Rundle, M. Bader, C. Richards, K. Neckerman, and J. Teitler. Using google street view to audit neighborhood environments. Vol. 40, No. 1, pp. 94–100, 2011.

- [12] H. Badland, S. Opit, K. Witten, R. Kearns, and S. Mavoa. Can virtual streetscape audits reliably replace physical streetscape audits?. Vol. 87, No. 6, pp. 1007–1016, 2010.
- [13] J. Eriksson, L. Girod, B. Hull, R. Newton, S. Madden, and H. Balakrishnan. The pothole patrol: Using a mobile sensor network for road surface monitoring. In *Proc.* MobiSys'08, pp. 29–39, 2008.
- [14] P. Mohan, V.N. Padmanabhan, and R. Ramjee. Nericell: Rich monitoring of road and traffic conditions using mobile smartphones. In *Proc. SenSys'08*, pp. 323–336, 2008.
- [15] 牧恒雄, 竹内康, 松田誠. 歩道の凹凸評価方法に関する研究. 第1回舗装工学講演会論 文集, pp. 151-158, 1996.
- [16] 石田眞二, 亀山修一, 岳本秀人, 姫野賢治, 鹿島茂. 車椅子の走行負荷に基づいた歩道 の路面凹凸評価方法. Vol. 62, No. 2, pp. 295–305, 2006.
- [17] 岡村美好. 車いすの乗り心地に着目した歩行者系舗装の性能指標に関する一考察. 土木学会舗装工学論文集, 第14巻, pp. 189-194, 2009.
- [18] 岩澤有祐, 矢入郁子. 多次元時系列データ解析によるアクセシビリティ可視化システムの開発. 第 28 回人工知能学会全国大会論文集, 4G1-3, 2014.
- [19] 隅田康明, 松永勝也, 合志和晃, 志堂寺和則. 車いす使用者向け経路探索のための路面の傾斜及び段差測定システムの開発. Vol. 114, No. 357, pp. 63-68, 2014.
- [20] N. Kuwahara, M. Nishiura, Y. Shiomi, K. Morimoto, Y. Iwawaki, and N. Nishida. A study on a ubiquitous system for collecting barrier-free information of evacuation centers for wheelchair users. In *Proc. CASEMANS'10*, pp. 36–39, 2010.
- [21] Padm. wheelog. available from http://npopadm. com (accessed 2018-10-27).
- [22] 宮田章裕, 伊勢崎隆司, 中野将尚, 石原達也, 有賀玲子, 望月崇由, 渡部智樹, 水野理. 直近移動能力を考慮した車椅子操作推定モデル. 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 10, pp. 2316-2326, 2016.
- [23] T. Isezaki, A. Niijima, A. Miyata, T. Watanabe, and O. Mizuno. Wheelchair users' psychological barrier estimation based on inertial and vital data. In *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 9738, pp. 403–413, 2016.

[24] J. Parkka, L. Cluitmans, and M. Ermes. Personalization algorithm for real-time activity recognition using pda, wireless motion bands, and binary decision tree. Vol. 14, No. 5, pp. 1211–1215, 2010.

- [25] J.R. Kwapisz, G.M. Weiss, and S.A. Moore. Activity recognition using cell phone accelerometers. Vol. 12, No. 2, pp. 74–82, 2010.
- [26] A. Brajdic and R. Harle. Walk detection and step counting on unconstrained smartphones. In *Proc. UBi-Comp'13*, pp. 225–234, 2013.
- [27] 佐藤匠, 廣森聡仁, 山口弘純, 東野輝夫. スマートフォンと靴センサを活用した災害時通行路の状況推定. マルチメディア、分散協調とモバイル (DICOMO2014) シンポジウム, 第 2014 巻, pp. 258–265, 2014.
- [28] 藤井海斗, 羽田野真由美, 西田京介, 戸田浩之, 澤田宏, 鹿島久嗣. 歩行者クラウドセンシングによる路面状態の推定. 第8回データ工学と情報マネージメントに関するフォーラム論文集, D6-5, 2016.
- [29] K. Huotari and J. Hamari. Defining gamification: a service marketing perspective. In *Proc. MindTrek'12*, pp. 17–22, 10 2012.
- [30] S. Deterding, D. Dixon, R. Khaled, and L. Nacke. From game design elements to gamefulness: defining gamification. In *Proc. MindTrek'11*, pp. 9–15, 2011.
- [31] J. Hamari and V. Lehdonvirta. Game design as marketing: How game mechanics create demand for virtual goods. In *International journal of business science and applied management*, pp. 14–29, 2010.
- [32] J. Hamari. Transforming homo economicus into homo ludens: A field experiment on gamification in a utilitarian peer-to-peer trading service. In *Electronic Commerce Research and Applications*, pp. 236–245, 2013.
- [33] 節電ゲーム #denkimeter. available from http://www.denkimeter.com/ (accessed 2018-10-27).
- [34] 市村哲, 矢澤崇史, 戸丸慎也, 渡邉宏優. 家事をゲーミフィケーション化する試み〜掃除への適用〜. マルチメディア、分散協調とモバイル (DICOMO2014) シンポジウム, 第 2014 巻, pp. 1285–1290, 2014.
- [35] S Ichimura. Introducing gamification to cleaning and housekeeping work. In *Proc. CollabTech'17*, pp. 182–190, 2017.
- [36] 高橋公海, 川崎仁史, 前田篤彦, 中村元紀. 街歩きによる高齢者の社会的孤立の防止 ~ソーシャルマッチングとゲーミフィケーションを用いたアプローチの検証~. Vol. 2016, , 2016.

[37] K. Seaborn and D.I. Fels. Gamification in theory and action: A survey. In *Int. Jnl. Human-Computer Studies*, Vol. 74, pp. 14–31, 2015.

- [38] Alexandrova T. Nakajima T. Liu, Y. Gamifying intelligent environments. In *Proc. Ubi-MUI'* 11, pp. 7–12, 2011.
- [39] Scheiner C. Robra-Bissantz S. Witt, M. Gamification of online idea competitions: Insights from an explorative case. In *Proc. INFORMATIK'* 11, p. 192, 2011.
- [40] Michalakidis G. Krause-P.J. Mason, A.D. Tiger nation: Empowering citizen scientists. In *Proc. DEST'* 12, pp. 1–5, 2012.
- [41] Coyle D. Cater-K. Jay M. Preist C. Massung, E. Using crowdsourcing to support pro-environmental community activism. In *Proc. CHI'* 13, pp. 371–380, 2013.
- [42] 小堀嵩弘, 佐藤文明. ゲーミフィケーションを利用した歩行者ナビゲーションのための情報収集. 第24回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp. 242–245, 2016.
- [43] 大和佑輝, 奥川和希, 呉健朗, 粟飯原萌, 古市昌一, 宮田章裕. ゲーミフィケーションを 用いたバリア検出のための歩行データ収集システム. 日本バーチャルリアリティ学会 論文誌, Vol. 25, No. 1, pp. 12–20, 2020.
- [44] Chris Crawford. The art of computer game design. mcgraw-hill, inc., new york, ny, usa. 1984.
- [45] Ingress prime. available from https://www.ingress.com (accessed 2021-1-22).
- [46] Niantic, inc., available from https://www.nianticlabs.com/ (accessed 2021-1-22).

#### 査読付き論文誌

(1) 呉健朗, 小林優維, <u>大和佑輝</u>, 宮田章裕: Tap Messenger: タップのみでコミュニケーションを行うシステム. 情報処理学会論文誌, Vol.62, No.1, pp.136–144 (2021 年 1月).

- (2) 鈴木颯馬, 尹泰明, 立花巧樹, <u>大和佑輝</u>, 呉健朗, 富永詩音, 小林稔, 宮田章裕: FIND-rawers: 収納物を検索可能な引き出し型システム. 情報処理学会論文誌, Vol.62, No.1, pp.44-52 (2021 年 1 月).
- (3) <u>大和佑輝</u>, 奥川和希, 呉健朗, 粟飯原萌, 古市昌一, 宮田章裕: ゲーミフィケーション を用いたバリア検出のための歩行データ収集システム, 日本バーチャルリアリティ 学会論文誌, Vol.25, No.1, pp.12–20 (2020年3月).
- (4) 本岡宏將, 呉健朗, <u>大和佑輝</u>, 宮田章裕: Vection 誘発映像と前進動作による坂道シミュレーション, 情報処理学会論文誌, vol.61, No.1, pp.61-69 (2020年1月).

#### 査読付き国際会議

- (1) Akihiro Miyata, Kazuki Okugawa, <u>Yuki Yamato</u>, 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 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '21) (2021, to be appeared).
- (2) Kousuke Motooka, Takumi Okawara, <u>Yuki Yamato</u> and Akihiro Miyata: Real-world Distance Reduction in a Virtual Reality-based Wheelchair Simulation on Flat Surfaces. Proc. 23rd International Conference on Human-Computer Interaction (HCII '21) (2021, to be appeared).
- (3) Akihiro Miyata, Kazuki Okugawa, <u>Yuki Yamato</u>, Megumi Aibara, Masakazu Furuichi and Yuko Murayama: BScanner: A Crowdsourcing Platform for Constructing Accessibility Maps to Support Multiple Participation Types. Proc. 32nd Australian Conference on Human-computer-interaction (OzCHI '20) (2021.2, to be appeared).
- (4) Akihiro Miyata, Kazuki Okugawa, <u>Yuki Yamato</u>, Megumi Aibara, Masakazu Furuichi and Yuko Murayama: BScanner: A Crowdsourcing Platform for Constructing Accessibility Maps to Support Multiple Participation Types. Proc. 32nd Australian Conference on Human-computer-interaction (OzCHI ' 20), pp.508–512 (2021.12).

(5) <u>Yuki Yamato</u>, Kenro Go and Akihiro Miyata: Gamification Approach for Gathering Barrier Information. Poster Proc. the 25th International Conference on Collaboration Technologies and Social Computing (CollabTech '19), pp.35–38 (2019.9).

#### 査読付き国内会議

- (1) 鈴木颯馬, 尹泰明, 立花巧樹, <u>大和佑輝</u>, 呉健朗, 富永詩音, 宮田章裕: finDrawers: 収納物を検索可能な引き出しの検証. 情報処理学会グループウェアとネットワークサービスワークショップ 2019 論文集, Vol.2019, pp.120–124 (2019 年 11 月).
- (2) 小林舞子, 小林優維, 呉健朗, <u>大和佑輝</u>, 宮田章裕: Tap Messenger:タップのみでコミュニケーションを行うシステムの提案. 情報処理学会インタラクション 2019 論文集, pp.67-74 (2019年3月).
- (3) 樋口恭佑, <u>大和佑輝</u>, 呉健朗, 栗田元気, 鈴木颯馬, 宮田章裕: 認知症のある人との会話トレーニングシステムの基礎検討, 情報処理学会グループウェアとネットワークサービスワークショップ 2018 論文集, Vol.2018, pp.1-4 (2018 年 11 月).

### 研究会・シンポジウム

- (1) 村山優作, <u>大和佑輝</u>, 奥川和希, 前田真志, 宮田章裕: ゲーミフィケーションを用いた バリア画像収集方式の基礎検討. 情報処理学会グループウェアとネットワークサー ビスワークショップ 2020 論文集, Vol.2020, pp.24–25 (2020 年 11 月).
- (2) 奥川和希, <u>大和佑輝</u>, 大河原巧, 村山優子, 宮田章裕: ヒートマップを用いたバリア情報可視化システムの実装. 情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2020), Vol.2020, pp. 683–687 (2020 年 6 月).
- (3) 大河原巧, 本岡宏將, <u>大和佑輝</u>, 奥川和希, 宮田章裕: Vection 誘発映像を用いて傾きを提示する車椅子シミュレータの考察. 情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2020), Vol.2020, pp.904–908 (2020 年 6 月).
- (4) 大河原巧, 本岡宏將, 呉健朗, <u>大和佑輝</u>, 奥川和希, 宮田章裕: バリアシミュレータの ための傾きフィードバックの基礎検討. 情報処理学会インタラクション 2020 論文集, pp.192–194 (2020 年 3 月).
- (5) 奥川和希, <u>大和佑輝</u>, 呉健朗, 大河原巧, 村山優子, 宮田章裕: ヒートマップを利用したバリア情報表現手法の基礎検討. 情報処理学会インタラクション 2020 論文集, pp.276-278 (2020 年 3 月).

- (6) 本岡宏將, 大河原巧, 呉健朗, 大和佑輝, 宮田章裕: HMD と電動車椅子を用いたバリアシミュレータの移動距離削減の基礎検討, 日本バーチャルリアリティ学会第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 6B-04 (2019 年 9 月).
- (7) <u>大和佑輝</u>, 奥川和希, 呉健朗, 宮田章裕:ゲーミフィケーションを用いたバリア情報収集システムの機能追加. 日本バーチャルリアリティ学会 VR 学研報, Vol.24, No.C-2, pp.45-50 (2019年6月).
- (8) 小林優維, 呉健朗, <u>大和佑輝</u>, 宮田章裕: 身体へのタップジェスチャでコミュニケーションを行うシステムの基礎検討. 情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2019), Vol.2019, pp.105-110 (2019 年 7 月).
- (9) 鈴木颯馬, 立花巧樹, <u>大和佑輝</u>, 呉健朗, 富永詩音, 宮田章裕: finDrawers:収納物を検索可能な引き出しの基礎検討. 情報処理学会インタラクション 2019 論文集, pp.864-866 (2019 年 3 月).
- (10) <u>大和佑輝</u>, 呉健朗, 宇野広伸, 樋口恭佑, 宮田章裕: ゲーミフィケーションを用いた バリア情報収集システムの検証実験. 日本バーチャルリアリティ学会 VR 学研報, Vol.24, No.C-1, pp.19–24 (2019 年 2 月).
- (11) <u>大和佑輝</u>, 呉健朗, 宇野広伸, 樋口恭佑, 荒木伊織, 宮田章裕: ゲーミフィケーションを用いたバリア情報収集システムの実装, マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2018) シンポジウム, Vol.2018, pp.721-724 (2018 年 7 月).
- (12) 小林舞子, 呉健朗, <u>大和佑輝</u>, 宮田章裕: Tap Messenger: タップのみでコミュニケーションを行うシステムの実装, マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2018)シンポジウム, Vol.2018, pp.1777–1783 (2018 年 7 月).
- (13) <u>大和佑輝</u>, 呉健朗, 宇野広伸, 樋口恭佑, 荒木伊織, 宮田章裕: ゲーミフィケーションを用いたバリア情報収集の提案, 情報処理学会第80回全国大会, Vol.2018, No.1, pp.63-64 (2018年3月).
- (14) 小林舞子, 呉健朗, 荒木伊織, <u>大和佑輝</u>, 宮田章裕: Tap Messenger: タップのみでコミュニケーションを行うシステムの基礎検討, 情報処理学会インタラクション 2018 予稿集, pp.963–968 (2018 年 3 月).
- (15) <u>大和佑輝</u>, 呉健朗, 宇野広伸, 樋口恭佑, 荒木伊織, 宮田章裕: ゲーミフィケーションを用いたバリア情報収集の基礎検討, 情報処理学会グループウェアとネットワークサービスワークショップ 2017 論文集, Vol.2017, pp.1-2 (2017 年 11 月).

### 受賞

(1) マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2018) シンポジウム ナイトテクニカルセッション賞, ちぎることで電子情報を手渡すインタラクション方式の実用性検証, 受賞者: 呉健朗, 宇野広伸, 富永詩音, 長岡大二, 小林舞子, 大和佑輝, 篠崎涼太, 多賀諒平 (2018 年 7 月).