

# メタバース空間におけるファントムセンスの実証研究

齋藤天馬

公立はこだて未来大学

角薫

公立はこだて未来大学

## 1. はじめに

メタバースの発展とともに、仮想環境における知覚の研究が注目されている。その中でも、「ファントムセンス (Phantom Sense)」と呼ばれる現象は、物理的な刺激が存在しないにもかかわらず、触覚や温感、圧力感覚などの知覚が生じる興味深い錯覚である [1]。この現象は、視覚や聴覚などの他の感覚から得られる情報をもとに脳が生成するものであり、実際の物理的接触がなくても非常にリアルな感覚を伴うことが特徴である。

ファントムセンスに関する先行研究では、視覚的要素や期待効果が錯覚の発生に影響を与えることが示唆されている [2]。たとえば、VR 環境で仮想の棒を手に持ち、それで自らのアバターの手を撫でると、実際には存在しない触覚が生じることが報告されている [2]。メタバース空間で自身のアバターが他人に触れられると、現実の身体にも触れられたように感じるケースがあり、特に没入感の高い VR ユーザに顕著である [3,9]。さらに、視覚的な温度表現がユーザの温感知覚に影響を与えることも報告されており [4]、これらの研究は、ファントムセンスが VR 環境における知覚の重要な要素であることを示唆している。

日本国内でも、メタバース環境でのファントムセンスの事例が取り上げられている。たとえば、「メタバース進化論」では、メタバース内で自身のアバターが他人に触れられると、実際に自分の体も触れられたように感じる現象が生じることが述べられている [6]。さらに、存在しない尻尾がアバターに付いている場合、それを触れると、まるで実際に触れられたかのような感覚を覚えることもあるとされている。このようなファントムセンスは、メタバース内での高所からの落下体験や、その他の触覚経験にも影響を及ぼすことが指摘されている。

ファントムセンスの感覚は個人差が大きく、VR の使用頻度が高い人が必ずしもファントムタッチを感じやすいわけではないと報告されている [1]。一方で、新しいユーザでもこの感覚を経験する可能性があるとしており、必ずしも長期的な VR 体験がファントムセンスの発生に直結するわけではない。ファントムタッチの具体的な知覚としては、「チクチクする感覚」(47.5%) が最も一般的であり、次いで「熱」(17.5%) や「圧力」(12.5%) といった感覚が報告されている。その他、ブラッシング、くすぐったさ、電気

的な感覚、振動、単純な存在感、または実際に触れられたような感覚を経験するユーザもいる。また、時間が経つにつれて「チクチクする感覚」を感じるユーザは、他の具体的な感覚も発達させやすいことが示されている。

しかし、これまでの研究では、ファントムセンスがどの程度の確率で発生するのか、またその要因が何であるのかについて、実証的な研究は限られていた。特に、身体的な覚醒状態や事前の運動経験がファントムセンスの発生に及ぼす影響については、十分に検討されていない。本研究では、ファントムセンスの発生率を定量的に評価し、メタバース体験における感覚知覚のメカニズムを明らかにすることを目的とする。

また、ファントムセンスがメタバースの没入感やユーザのエンゲージメントに与える影響についても検討する。仮想環境における体験の没入感やリアリティの評価指標が提案されている [7]。エンターテインメントの「面白さ」や「世界観」が、ユーザの持続的な関与につながる事が指摘されている [10]。しかし、ファントムセンスが直接的に再訪動機と関連するののかについての実証研究はほとんど存在しない。本研究では、メタバース体験におけるファントムセンスの影響を多角的に分析し、VR 環境設計への示唆を提供することを旨とする。

## 2. 仮説

本研究では、メタバース環境におけるファントムセンスの発生率とそれに影響を与える要因を明らかにし、さらにファントムセンスがメタバース体験や再訪動機に与える影響を調査することを目的とする。特に、事前運動がファントムセンスの発生に及ぼす影響、およびファントムセンスの知覚がメタバースの没入感や再訪意向にどのような関係を持つのかを検証する。これに基づき、以下の仮説を設定する。

### H1 (ファントムセンスの発生率) :

メタバース環境では一定の確率でファントムセンスが発生する。

- これまでの研究では、視覚・聴覚情報の統合により触覚が生じる可能性が示唆されていた [1]。また、温感に関しては、視覚的な温度表現が影響を与えることが報告されている [4]。しかし、どの程度のユーザがこの現象を経験するのかは未検証である。本研究では、異なるメタ

バース環境でファントムセンスの発生頻度を測定する。

## H2 (事前運動の影響) :

メタバース体験前の身体的興奮状態がファントムセンスの発生率に影響を与える。

- 本研究では、励起伝達理論 (Excitation Transfer Theory) を適用し、身体的興奮が残留することでファントムセンスが增強される可能性を検証する [5].

## H3 (ファントムセンスの期待効果) :

メタバース体験前にファントムセンスの概念を知ること、実際のファントムセンスの発生確率が変化する。

- 知覚において、期待効果 (Expectation Effect) が体験の強度に影響を与えることが知られている [2].
- 先行研究では、ミラーニューロンシステムが知覚の強化に関与し、他者が感じていることを観察することで自身の感覚が強化される可能性が指摘されている [8].
- そこで、ファントムセンスの説明を事前に受けた群とそうでない群で、ファントムセンスの発生率に違いが生じるかを検証する。

## H4 (2人での体験がファントムセンスに与える影響) :

2人でメタバースを体験することで、ファントムセンスの発生率やメタバース体験の質が変化する。

- ゲーム体験の没入感や感覚の強化に関する指標が提案されている [7].
- メタバース内で他者と相互作用することで、触覚の錯覚が強化される可能性がある [9].
- 2人群と1人群の比較を行い、ファントムセンスの発生率や体験の主観的評価が異なるかを分析する。

## H5 (ファントムセンスの発生とメタバース体験の質) :

ファントムセンスを体験することで、メタバース体験の没入感や面白さが向上する。

- メタバース体験の没入感や体験の質を評価する指標が提案されている [7].
- ファントムセンスを感じた群と感じなかった群で、メタバース体験の主観的評価(面白さ, リアリティ, 没入感)が異なるかを検証する。

## H6 (ファントムセンスと再訪動機) :

ファントムセンスを体験することで、メタバースへの再訪意向が変化する。

- 仮想環境のリアリティが高まることで、ユーザがその環境を繰り返し訪れたいくなる可能性がある [10].
- しかし、これまでの研究では、ファントムセンスが再訪動機に直接的な影響を及ぼすかどうかは未検証であるため、本研究で実証的に分析する。

## 3. メタバース実験システムの開発

本研究では、VRChat プラットフォームを活用し、メタバース環境内でのファントムセンスの発生を調査するための実

験システムを開発した。実験環境は、Blender, Unity, Udon Graph を用いて構築し、ユーザがインタラクティブな体験を行えるよう設計した。特に、触覚や温感を誘発する視覚的・聴覚的フィードバックを強調し、リアルな感覚錯覚を引き起こす仕組みを取り入れた。

### 3.1 メタバースの体験順

被験者には、以下の4つのメタバース環境を体験してもらい、ファントムセンスの発生率を測定した (図 1)。

- チュートリアルワールド - 操作方法の習得 (図 2)
- バンジージャンプワールド - 落下感のファントムセンス誘発 (図 3)
- サイクリングワールド - 衝突感のファントムセンス誘発 (図 4)
- 温泉ワールド - 温感のファントムセンス誘発

実験では、各ワールドを体験した後にアンケートを実施し、ファントムセンスの発生率と被験者の主観的評価を収集した。体験順序の影響を抑えるため、カウンターバランスを考慮してワールドの順番を変更しながら実験を行った。

### 3.2 チュートリアルワールド

チュートリアルワールド (図 2) は、被験者が VRChat の基本操作を習得し、メタバース環境に適応することを目的として設計した。Meta Quest 3 を使用し、以下の操作を練習できる環境を構築した。

- アバターの移動 (歩行, 座る)
- オブジェクトの持ち上げ
- 乗り物の操作 (サイクリングワールド用)
- ポータルを用いたメタバース間の移動

この環境は Unity と Udon Graph を用いて開発し、スムーズな体験を提供するために最適化を行った。また、バンジージャンプワールドやサイクリングワールドのような過激な体験を和らげるため、アニメーション付きのキツネのオブジェクトや明るい BGM を追加し、心理的負担を軽減した。

### 3.3 バンジージャンプワールド

バンジージャンプワールド (図 3) は、落下感のファントムセンスを誘発するために設計した。被験者には、以下の手順で体験してもらった。

1. 高所のエレベーターに乗り、上昇
2. 半透明のガラス床へ移動
3. 椅子に座ると 6 秒後に自動で落下開始
4. 落下中、風を切る音や視覚的な加速感を付与  
視覚情報と音響効果を組み合わせることで、リアルな落下感覚をシミュレートした。

### 3.4 サイクリングワールド

サイクリングワールド (図 4) では、衝突時のファントム



図1 メタバース体験の順番



図3 バンジージャンプワールド



図2 チュートリアルワールド



図4 サイクリングワールド



図6 リセットワールド



図5 温泉ワールド

センスを誘発することを目的とした。被験者は、以下のプロセスで体験を行った。

1. 自転車を操作し、交差点まで前進（後退不可）
2. クラクション音による心理的圧迫を追加
3. 信号無視の車に衝突される
4. 衝突の方向に吹き飛ばされ、血しぶきのエフェクトとリバーブした悲鳴音を追加

このワールドは、VR環境における危険体験の再現を意図しており、現実には存在しない衝撃感覚を引き起こす設計となっている。

### 3.5 温泉ワールド

温泉ワールド（図5）では、温感のファントムセンスを誘発することを目的とし、以下の視覚的・音響的演出を採用した。

- 湯気のエフェクトと画面全体の色温度変化

- 温かみのある照明とBGM
- 仮想的な湯船に浸かるアニメーション

このワールドは、特に視覚による温感の錯覚を誘発するように調整されており、ユーザが「温かい」と感じるかどうかを評価した。

### 3.6 リセットワールド

各メタバース体験後に、心理状態をリセットするための環境を用意した（図6）。ファントムセンスによる影響を次のワールドへ持ち越さないようにするため、落ち着いたBGMを流すことでリラックスできる空間を提供した。

### 3.7 メタバースで使用したアバター

被験者がメタバースを体験する際に使用するアバター（図7）は、VRoid Studioで作成されたデフォルトキャラクターを、VRChat Creator Companionを用いてアップロードし、最適化した。すべての被験者が同じアバターを使用



図7 メタバース体験用アバター

することで、外見の違いがファントムセンスの発生に与える影響を排除し、一貫した体験が得られるようにした。

## 4. 実験

### 4.1 実験概要

本研究では、メタバース環境におけるファントムセンスの発生率と、それに影響を与える要因を調査することを目的とした。さらに、ファントムセンスの知覚がメタバース体験の質や再訪動機にどのように関係するのかを明らかにするため、被験者を異なる条件群に分けて実験を行った。

実験では、以下の4つの実験群を設定し、それぞれの条件下でファントムセンスの発生率、体験の質、再訪動機の強さを比較した。

- 統制群 (Control Group) : 標準的なメタバース体験を実施し、ファントムセンスの基礎的な発生率を測定する。
- 事前運動群 (Pre-Exercise Group) : メタバース体験前に運動を行い、身体的興奮状態がファントムセンスの発生率に与える影響を検証する。
- 説明群 (Explanation Group) : メタバース体験前にファントムセンスの概念を説明し、期待効果の影響を調査する。
- 2人群 (Two-Person Group) : 2人で同時にメタバースを体験し、他者との相互作用がファントムセンスの発生や体験の質に与える影響を分析する。

各群の被験者数は、統制群、事前運動群、説明群がそれぞれ11名、2人群が10名である。

実験の前に、被験者には実験参加に関する同意書と運動に支障がないかを確認する書類に署名してもらい、事前アンケートによりファントムセンスやVR体験に関する知識の有無を確認した。

実験では、VR ゴーグル (Meta Quest 3) を使用し、チュートリアルワールドを経た後、バンジージャンプワールド、サイクリングワールド、温泉ワールドを体験してもらった。各ワールドの体験後に事後アンケートを実施し、ファントムセンスの有無やメタバース体験の主観的評価を収集した。

最後に、各群の結果を比較し、メタバース体験の質がどのように変化するのかを検証した。

### 4.2 被験者と条件群

本研究では、大学生43名を被験者として募集した。被験者の内訳は、男性32名、女性11名で、平均年齢は20.3歳である。

すべての被験者は、VR ゴーグル (Meta Quest 3) を装着し、バンジージャンプワールド、サイクリングワールド、温泉ワールドの3つのメタバース体験を行った。なお、体験の順序はカウンターバランスを考慮し、被験者ごとに異なる順番で実施した。

また、事前アンケートにおいてVRゲームのプレイ経験を調査した結果、76.7%の被験者がVRゲームを未経験であり、月に1~3回程度プレイする者が20.9%、毎日プレイする者が2.3%であった。この結果から、本実験の被験者の大半がVR体験に不慣れであることが分かった。

### 4.3 統制群 (Control Group) の実験

統制群の被験者11名には、VRChatのメタバース環境を標準的な手順で体験してもらい、ファントムセンスの基礎的な発生率を測定した。実験手順は以下の通りである。

まず、チュートリアルワールドでVR操作に慣れた後、バンジージャンプワールド、サイクリングワールド、温泉ワールドの3つのメタバースを順番に体験してもらった。それぞれのワールド体験後にはアンケートに回答し、ファントムセンスの有無や体験の質を評価した。次のメタバースを体験する前にはリセットワールドを経由し、被験者の心理状態をリセットすることで、各ワールドの影響を次に持ち越さないようにした。

この群の被験者は、事前アンケートでファントムセンスについての知識がないことが確認されており、また、事前運動(心拍数を上げる運動)を行わない条件で実験を実施した。

### 4.4 事前運動群 (Pre-Exercise Group) の実験

事前運動群の被験者11名には、統制群と同様のメタバース体験を行う前に、サイクリングマシンを使用した運動を実施してもらった。

まず、チュートリアルワールドで基本操作を習得した後、サイクリングマシンに乗り、心拍数を110以上に維持しながら3分間運動してもらった。その後、被験者が「心拍が落ち着いた」と申告した後に、バンジージャンプワールド、サイクリングワールド、温泉ワールドを順番に体験した。各ワールド体験後にはアンケートを記入し、リセットワールドを経由して次のワールドへ進む手順を採用した。

この群では、事前運動がファントムセンスの発生率やメタバース体験の質に影響を与えるかどうかを検証した。

### 4.5 説明群 (Explanation Group) の実験

説明群の被験者11名には、統制群と同じメタバース体験



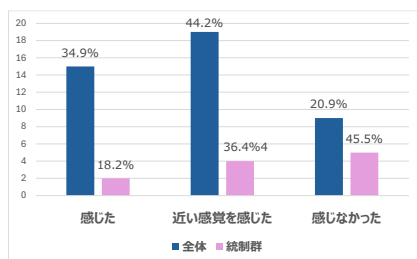


図 8 バンジージャンプの落下感の割合 (全体・統制群比較)

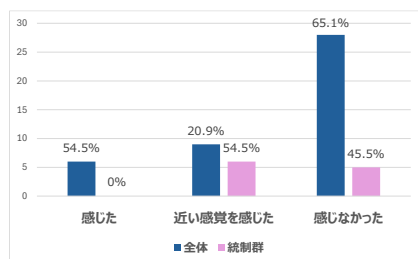


図 9 温泉の温感の割合 (全体・統制群比較)

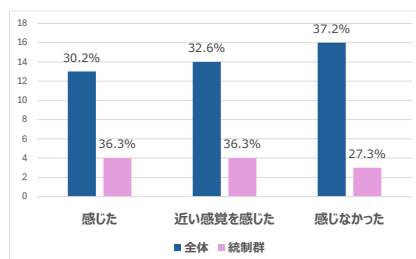


図 10 サイクリングワールドの衝突感の割合 (全体・統制群比較)

を行う前にファントムセンスに関する説明を受けてもらった。

まず、チュートリアルワールドで VR 操作に慣れた後、ファントムセンスとは何かについて説明を行った。具体的には、「ファントムセンスは、実際の刺激がないにもかかわらず、リアルな感覚として知覚される現象であり、視覚や聴覚情報によって触覚や温感が生じることがある」ことを被験者に伝えた。その後、バンジージャンプワールド、サイクリングワールド、温泉ワールドを順番に体験し、各ワールドの後にアンケートに回答してもらった。

この群では、事前にファントムセンスの概念を説明することで、期待効果がファントムセンスの発生率や体験の質に影響を与えるかどうかを検証した。

#### 4.6 2 人群 (Two-Person Group) の実験

2 人群の被験者 10 名には、統制群と同じメタバース体験を行うが、2 人 1 組で同時に体験する形式を採用した。

まず、チュートリアルワールドで基本操作を習得した後、2 人でバンジージャンプワールド、サイクリングワールド、温泉ワールドを体験した。各ワールド体験後にはアンケートを記入し、リセットワールドを経由して次のワールドへ進んだ。

この群では、他者と一緒に体験することが、ファントムセンスの発生率やメタバース体験の質に影響を与えるかどうかを検証した。

### 5. 結果

本章では、メタバース環境におけるファントムセンスの発生率、メタバース体験の面白さ、再訪動機の高さについて各実験群の比較を行い、有意な差があるかどうかを統計的に検定する。また、事後アンケートの回答に基づき、被験者を条件別に分類し、各指標の関連性を分析する。

#### 5.1 ファントムセンスはどれくらいの人が感じたか？

まず、被験者 43 名に対し、バンジージャンプワールド (落下感)、サイクリングワールド (衝突によるぞわぞわ感)、温泉ワールド (温感) の 3 つのメタバース体験においてファントムセンスを感じたかどうかを調査した。回答は「感

じた」「近い感覚を感じた」「感じなかった」の 3 択で行われた。

- バンジージャンプワールド では、全体では 15 名 (34.9%) が「感じた」、19 名 (44.2%) が「近い感覚を感じた」と回答した。統制群では、「感じた」は 2 名、「近い感覚を感じた」は 4 名であり、統制群ではファントムセンスを強く感じる割合がやや低かった。
- サイクリングワールド では、全体では 13 名 (30.2%) が「感じた」、14 名 (32.6%) が「近い感覚を感じた」と回答した。統制群では、「感じた」は 4 名、「近い感覚を感じた」は 4 名で、統制群でも一定の割合でファントムセンスが報告された
- 温泉ワールド では、全体では 6 名 (14.0%) が「感じた」、9 名 (20.9%) が「近い感覚を感じた」と回答した。一方で、統制群では「感じた」と答えた被験者は 0 名であり、「近い感覚を感じた」は 6 名だった。

統制群のファントムセンス発生率を比較するため、各ワールドの統制群データを加えたグラフを図 8, 9, 10 に示す。結果として、バンジージャンプワールドでは落下感、サイクリングワールドでは衝突感を感じる被験者が多く、温泉ワールドは他の 2 つに比べて発生率が低かった。

これらの結果から、ファントムセンスは一定の割合で発生し、特に視覚と体感の結びつきが強い場面 (落下や衝突) で多くの被験者が経験する傾向があることが示唆された。また、統制群と比較すると、実験群のほうがファントムセンスの発生率が高い傾向にあり、メタバース体験の内容や没入感の違いが影響を及ぼしている可能性がある。

#### 5.2 各ワールドはどのように評価されたのか？

各ワールドの面白さと再訪動機について、5 段階評価のアンケートを実施した。その結果、面白さの平均値は以下のようになった。

- バンジージャンプワールド : 3.65 点
- サイクリングワールド : 4.06 点
- 温泉ワールド : 3.25 点

また、再訪動機の平均値は以下の通りであった。

- バンジージャンプワールド : 3.27 点

- サイクリングワールド : 3.41 点
- 温泉ワールド : 3.11 点

これらの結果から、最も面白いと評価されたのは サイクリングワールド であり、再訪動機も最も高かった。温泉ワールドは相対的に評価が低かったものの、それでも一定の関心を集めていた。

### 5.3 事前に説明するとどうなるのか？

ファントムセンスについて事前に説明を受けた群（説明群）と、説明を受けなかった群（統制群）を比較したところ、ファントムセンスの発生率、メタバース体験の面白さ、再訪動機のいずれにおいても有意な差は見られなかった ( $p > 0.05$ )。この結果から、ファントムセンスの発生は事前情報による期待効果に大きく依存しないことが示唆される。

### 5.4 事前に心拍数を上げるとどうなるのか？

事前に運動を行った群（事前運動群）と統制群を比較したところ、以下の結果が得られた（表 1-1, 1-2, 1-3）。

- サイクリングワールドにおいて、ファントムセンスを感じた人数に有意差が見られた ( $p < 0.011$ )。
  - 事前運動群では、ファントムセンスを感じた人が少なかった（表 1-3）。
  - これは、事前にリアルなサイクリングを行ったことで、メタバースの体験と現実の体験が乖離し、バーチャルな衝突感が薄れた可能性を示唆する。
- バンジージャンプワールド ( $p < 0.38$ ) および温泉ワールド ( $p < 0.077$ ) では有意な差は見られなかった。

表 1-1 統制群と事前運動群のファントムセンス比較 (バンジージャンプワールド)

群	感じた	感じなかった	合計
統制群 (バンジー)	6 (54.5%)	5 (45.5%)	11
事前運動群 (バンジー)	8 (72.7%)	3 (27.3%)	11
合計	14 (63.6%)	8 (36.4%)	22

表 1-2 統制群と事前運動群のファントムセンス比較 (温泉ワールド)

群	感じた	感じなかった	合計
統制群 (温泉)	6 (54.5%)	5 (45.5%)	11
事前運動群 (温泉)	2 (18.2%)	9 (81.8%)	11
合計	8 (36.4%)	14 (63.6%)	22

表 1-3 統制群と事前運動群のファントムセンス比較 (サイクリングワールド)

群	感じた	感じなかった	合計
統制群 (サイクリング)	8 (72.7%)	3 (27.3%)	11
事前運動群 (サイクリング)	2 (18.2%)	9 (81.8%)	11
合計	10 (45.5%)	12 (54.5%)	22

### 5.5 2人だとファントムセンスを感じやすいのか？

2人群と統制群を比較したところ、ファントムセンスの発生率には有意差がなかった ( $p > 0.05$ )。しかし、温泉ワ

ールドにおけるメタバース体験の面白さに有意差が見られた ( $p < 0.046$ )（表 2-1, 2-2, 2-3）。

この結果は、他者とメタバース体験を共有することで、より面白いと感じる可能性があることを示唆する。特にリラックスを伴う体験では、ソーシャルな要素が重要な役割を果たしていると考えられる。

表 2-1 バンジージャンプワールドの面白さ (統制群・2人群)

群	M (SD)
統制群 (バンジー)	3.36 (1.02)
2人群 (バンジー)	4.1 (0.99)

表 2-2 温泉ワールドの面白さ (統制群・2人群)

群	M (SD)
統制群 (温泉)	3.27 (0.90)
2人群 (温泉)	4.10 (0.87)

表 2-3 サイクリングワールドの面白さ (統制群・2人群)

群	M (SD)
統制群 (サイクリング)	4.09 (1.37)
2人群 (サイクリング)	4.40 (0.96)

### 5.6 GEQ を使った検定

ゲーム体験の質を測定するため、GEQ (Game Experience Questionnaire) のコアモジュール[7]を使用し、被験者のスコアを分析した。

高得点者 (ファントムセンスを強く感じた群) と低得点者 (ファントムセンスを感じなかった群) を比較したところ、「没入感」「フロー体験」「ポジティブ感情」の3つの要素で有意差があった ( $p < 0.05$ )（表 3, 4, 5）。

この結果から、ファントムセンスの経験がメタバースに対する没入感を高め、ポジティブな体験を増幅する可能性があることが示唆される。

表 3 没入感スコアと面白さ (ファントムセンス高・低得点群)

ファントムセンス	M (SD)
高得点	3.89 (0.65)
低得点	2.5 (0.96)

表 4 フロー体験スコアと面白さ (ファントムセンス高・低得点群)

ファントムセンス	M (SD)
高得点	3.65 (0.90)
低得点	2.45 (1.13)

表 5 ポジティブ感情スコアと面白さ (ファントムセンス高・低得点群)

ファントムセンス	平均値
高得点	4.03 (0.52)
低得点	2.85 (1.07)

## 5.7 ファントムセンスを体験した群とそうで無い群

ファントムセンスを体験した群と体験しなかった群のメタバース体験の評価を比較した結果、バンジージャンプワールドと温泉ワールドでは面白さの評価に有意差があった ( $p < 0.012, p < 0.013$ ) (表 6-1, 6-2)。

再訪動機には有意な差はなかったものの、ファントムセンスを感じた群はスコアがより高い傾向にあった (表 7-1, 7-2, 7-3)。

表 6-1 バンジージャンプの面白さ (ファントムセンス別)

ファントムセンス	M (SD)
感じた	3.84 (1.09)
感じなかった	3.00 (0.81)

表 6-2 温泉の面白さ (ファントムセンス別)

ファントムセンス	M (SD)
感じた	3.80 (0.94)
感じなかった	2.96 (1.13)

表 12 バンジージャンプ再訪 (ファントムセンス別)

ファントムセンス	M (SD)
感じた	3.45 (1.34)
感じなかった	2.70 (1.49)

表 13 温泉再訪 (ファントムセンス別)

ファントムセンス	M (SD)
感じた	3.73 (0.96)
感じなかった	2.78 (1.10)

表 14 サイクリング再訪 (ファントムセンス別)

ファントムセンス	M (SD)
感じた	3.59 (1.57)
感じなかった	3.30 (1.47)

## 5.8 性格によってメタバース体験に違いがあるか

TIPI-J に基づき外向性, 誠実性, 神経症的傾向, 開放性などの因子を評価し, これらの性格特性がファントムセンスの発生やメタバース体験に与える影響を検討した。被験者の性格特性 (Big Five) [11] とファントムセンスの発生率, 体験の質, 再訪動機の関係进行分析したが, 有意差は見られなかった ( $p > 0.05$ )。この結果から, 性格特性がメタバース体験の質に大きく影響を与えるとは言えないことが示唆された。

## 6. 議論

本研究では, メタバース環境におけるファントムセンスの発生率や影響を実証的に調査し, 事前運動や説明, 2人での体験, 性格特性がどのように関与するかを検証した。その結果, いくつかの興味深い知見が得られた。本章では, それぞれの仮説との対応を整理し, 得られた結果の意味を考察する。

### 6.1 仮説の検証

本研究で設定した仮説 (H0~H6) について, 結果との対応を以下に整理する。

- **H0 (基礎仮説):** 「メタバース環境では一定の割合の人がファントムセンスを経験する」

**結果:** 検証の結果, バンジージャンプワールドでは 34 人 (約 79.0%), サイクリングワールドでは 27 人 (約 62.7%), 温泉ワールドでは 15 人 (34.8%) の被験者がファントムセンスを経験した。これは, 仮説 H0 が支持されることを示唆する。

- **H1 (統制群):** 「通常のメタバース体験でもファントムセンスは生じる」

**結果:** 統制群においても一定数の被験者がファントムセンスを報告しており, H1 は支持された。

- **H2 (事前運動群):** 「事前運動はファントムセンスを強化する」

**結果:** 予想に反し, 事前運動群ではサイクリングワールドのファントムセンスが低下した ( $p < 0.011$ )。これは, 現実のサイクリング体験がバーチャル体験との差異を認識させ, 感覚のリアルさを低減させた可能性がある。

- **H3 (説明群):** 「ファントムセンスを事前に説明すると, その発生率が上がる」

**結果:** ファントムセンスの発生率に有意な影響は見られなかった ( $p > 0.05$ )。期待効果による影響は限定的だった可能性がある。

- **H4 (2人群):** 「2人でメタバースを体験するとファントムセンスが強まる」

**結果:** ファントムセンスの発生率に有意差はなかったが, 温泉ワールドではメタバース体験の面白さが向上した ( $p < 0.046$ )。

- **H5 (性格特性):** 「性格特性 (Big Five) はファントムセンスの発生に影響を与える」

**結果:** Big Five のいずれの要素とも有意な関連は見られなかった。

- **H6 (再訪動機):** 「ファントムセンスを感じるとメタバースの再訪動機が高まる」

**結果:** ファントムセンスを感じた群と感じなかった群で再訪動機に有意な差は見られなかった。ただし, ファントムセンスを感じた群の方が平均スコアは高かった。

### 6.2 ファントムセンスの種類とワールドごとの違い

各ワールドにおけるファントムセンスの違いを分析すると, 興味深い傾向が見られた。

- **バンジージャンプワールド (落下感):**

体験者の 79.0% がファントムセンスを感じたまたは近い感覚を感じたが, 完全に落下感を経験したのは 2 人のみだった。

「ぐわんとする感覚」「バウンドする感覚」の報告があり視覚情報による錯覚の影響が示唆された。

- **サイクリングワールド (衝突感):**

体験者の 62.7% がファントムセンスを感じたまたは近い

感覚を感じた。

「椅子に座っているにもかかわらず、動いている感覚があった」「車に飛ばされた感覚があった」といった報告があり、視覚情報の影響が強いことが示唆された。

しかし、事前運動群ではファントムセンスが低下しており、現実の自転車体験が逆に影響を与えた可能性がある。

#### ● 温泉ワールド (温感) :

体験者の 34.8%がファントムセンスを感じたが、「温かそうというより冷たそうに感じた」との報告もあった。

視覚情報による温感の再現が不十分だった可能性があり、今後の改善が必要である。

### 6.3 メタバース体験の質への影響

GEQ の分析結果から、ファントムセンスを感じた被験者は「没入感」「フロー体験」「ポジティブ感情」が高かったことが示された ( $p<0.01$ )。これは、ファントムセンスがメタバース体験の質を向上させる可能性を示唆する。

### 6.4 メタバース設計への示唆

本研究の結果を踏まえ、メタバース設計において以下の示唆が得られた。

#### 1. 視覚情報の工夫:

落下感の強化には視覚的な動きのエフェクトや浮遊感を増す演出が有効である。

温感の再現には、視覚情報の調整(湯気の質感や色温度の調整)や触覚デバイスの併用が求められる。

#### 2. リアルな経験の影響:

事前運動がバーチャル体験の知覚に影響を与える可能性がある。これは現実世界での類似経験による影響としても考えられる。サイクリング体験後のサイクリングワールド体験のように、現実とメタバースの体験が乖離している場合、ファントムセンスが低下することがある。

#### 3. 社会的要因:

2人での体験が没入感や面白さを高める可能性がある。単独での体験と比べ、メタバースでの社会的相互作用の影響を今後さらに検証する価値がある。

## 7. まとめ

本研究では、メタバースにおけるファントムセンスの発生率や影響を実証的に検証した。その結果、ファントムセンスは一定の割合で発生するものの、事前運動が感覚を低減させるなど、予想外の結果も得られた。また、視覚的な演出や社会的要因が体験の質に影響を与える可能性が示唆された。

さらに、事前に運動を行うとファントムセンスの発生率が低下することが示唆された。また、現実で直前に行った行動と類似する動作をメタバース内で行う場合にファントムセンスの発生率が低下する可能性があることが分かった。一方で、シンプルな操作性を維持し、過激な描写を控える

ことで、ファントムセンスが誘発されやすくなる可能性がある。

また、メタバース体験の面白さに関しては、1人で体験するよりも2人1組で体験する方がより没入感が高まり、楽しさが増すことが示された。例えば、バレーボールなどのスポーツをメタバース内で実装し、プレイヤー同士の相互作用を促進することで、ファントムセンスの活用による没入感の向上が期待される。

本研究の結果は、メタバースの設計において、ファントムセンスを意図的に活用することが、没入感やポジティブな感情を高める手段となることを示唆している。今後の研究では、長期的なメタバース体験への影響や、触覚デバイスとの連携によるさらなる没入感の向上について検討することが求められる。

## 参考文献

- [1] S. Alexdottir and X. Yang, "Phantom Touch phenomenon as a manifestation of the Visual-Auditory-Tactile Synaesthesia and its impact on the users in virtual reality," 2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct), Singapore, Singapore, 2022, pp. 727-732.
- [2] Pilacinski, A., Metzler, M., & Klaes, C. "Phantom touch illusion, an unexpected phenomenological effect of tactile gating in the absence of tactile stimulation." Scientific Reports, 13, 15453 (2023).
- [3] Qijia Chen, Michiel M. Spapé, and Giulio Jacucci. "Understanding Phantom Tactile Sensation on Commercially Available Social Virtual Reality Platforms." Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, 8, CSCW1, Article 141 (April 2024), 22 pages.
- [4] Blaga, A. D., Frutos-Pascual, M., Creed, C., & Williams, I. "Too Hot to Handle: An Evaluation of the Effect of Thermal Visual Representation on User Grasping Interaction in Virtual Reality." Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1-16.
- [5] Zillmann, D. "Excitation Transfer Theory." The International Encyclopedia of Communication, Vol. 4, pp. 1627-1632, 2008.
- [6] バーチャル美少女ねむ。メタバース進化論。技術評論社, 2022.
- [7] IJsselstein, W., de Kort, Y. A. W., & Poels, K. The Game Experience Questionnaire. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2013.
- [8] Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). "The Mirror-Neuron System." Annual Review of Neuroscience, 27, 169-192.
- [9] Slater, M., Spanlang, B., Sanchez-Vives, M. V., & Blanke, O. (2010). "First Person Experience of Body Transfer in Virtual Reality." PLoS ONE, 5(5), e10564.
- [10] 都留泰作.<面白さ>の研究. 角川新書,2015,301p.
- [11] 小塩 真司, 阿部 晋吾, Pino Cutrone. 2012. 日本語版 Ten Item Personality Inventory(TIPI-J)作成の試み. パーソナリティ研究. 21(1), pp. 40-52.