

リアルワールドメタバース空間での 複数ユーザによる身体スケール変容体験

棚橋 柊太*¹ 熊澤 七音*¹ 尾崎 真央*¹ 長張 快*¹
橋口 哲志*² 中村 文彦*¹ 木村 朝子*¹ 柴田 史久*¹

Multi-User Bodily Scale Transformation Experiences in a Real-World Metaverse

Shuta Tanahashi*¹, Naoto Kumazawa*¹, Mao Ozaki*¹, Kai Nagahari*¹,
Satoshi Hashiguchi*², Fumihiko Nakamura*¹, Asako Kimura*¹, Fumihisa Shibata*¹

Abstract – This study explores the feasibility of a real-world metaverse by developing an interactive system in which a Mixed Reality (MR) player (a panda) and multiple Virtual Reality (VR) players (small animals) engage in an asymmetrical tag game within a shared physical space. Using Meta Quest 3 and Unity, the system enables the MR player to perceive the real world through passthrough while interacting with virtual objects, and VR players to fully immerse themselves in a virtual environment. Through exhibition and evaluation, we confirmed the effectiveness of this hybrid interaction and gained insights into game balance and embodied control design. Notably, VR players reported a strong sense of body-scale reduction when visually confronted with the large MR panda, revealing the powerful influence of visual cues on body perception.

Keywords : リアルワールドメタバース, 複合現実感 (MR), 人工現実感 (VR), ヒューマンインタラクション

1. はじめに

複合現実 (Mixed Reality; MR) 環境におけるデジタルツイン (Digital Twin) の活用手法として、リアルワールドメタバース (Real-World Metaverse) が提唱されている [1]. これは、従来の人工現実 (Virtual Reality; VR) 空間を中心としたメタバースとは異なり、現実世界を起点として実体験を拡張することを目的とした新たな形態である。この環境では、現実空間のデジタルツインを VR 空間内に生成することで、VR と MR の空間を高精度に同期させることが可能となる。

この仕組みを応用した先行事例として、Zaman らは、リモートユーザが現実の共同作業空間にアクセス可能なシステムを開発し、ローカルユーザとの対話や協働作業を実現している [2]. このような VR と MR における非対称な体験の活用は、単なる協働作業の効率化に留まらず、ユーザの身体感覚そのものに変容をもたらす新たな体験を創出する可能性を秘めている。

特にリアルワールドメタバース空間では、MR 空間のユーザ (実スケール) と VR 空間のユーザ (縮小

スケール) のように、空間スケールを調整可能な特徴がある。このとき、ユーザは自身の身体の大きさ (身体スケール) をどのように知覚するかが重要な検討課題となる。身体スケールの変容は、自己認識や他者とのインタラクションに大きな影響を及ぼすと考えられるが、複数人が参加するリアルワールドメタバース環境において、その発生や共有のメカニズムは未だ十分に解明されていない。また、この体験の実現には MR と VR 空間間の高精度な位置合わせや効率的な状態同期といった技術的基盤に加えて、意図的に身体スケールの変容を誘発するインタラクション設計が不可欠である。

そこで本研究では、リアルワールドメタバースの具現化に向けた取り組みとして、複数ユーザによる身体スケール変容体験に着目し、その基礎的な検討を行う。具体的には、現実世界と仮想世界を身体スケールの異なるデジタルツインとして合成し、これを用いたコンテンツを制作・展示することで、スケール変容を伴う複数ユーザのインタラクションに関する実課題を抽出する。

2. 作品概要

先行研究 [3] では、VR および MR 空間における各ユーザの位置・姿勢情報の共有を実現するシステムを構築し、リアルワールドメタバースの実現に向けた課題の一つに取り組んだ。本システムでは、MR 空間の

*1: 立命館大学情報理工学部

*2: 立命館大学 グローバル・イノベーション研究機構

*1: College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

*2: Ritsumeikan Global Innovation Research Organization, Ritsumeikan University



図1 大道具セットとMR・VR空間における体験の構成（左：実際の大道具セット，中央：MR空間での体験，右：VR空間での体験）

ユーザを実スケールのアバタ，VR空間のユーザを縮小スケールのアバタ（ネズミ）として表現する非対称型複合現実空間を用い，1対1で協働する謎解きコンテンツを作成した．この環境において，VR空間で縮小スケールを体験した参加者からは，「周囲（現実空間のユーザや大道具）が大きく感じ，自分が小人のように思えた」といった感想が聴取された．このように，非対称型複合現実空間において，あえて実寸大とは異なるアバタのスケールで体験を設計することで，新たな協働空間の構築可能性が示唆された．

しかしながら，本システムはMRとVR間の1対1のインタラクションに限定されており，複数人が参加するリアルワールド・メタバース環境においても同様の効果が得られるかは明らかではない．VR空間における身体スケールの知覚については，自身の身体が小さく感じられる現象が報告されているが [4, 5]，この知覚は環境や他者の存在など，さまざまな要因の影響を受ける可能性がある [6, 7]．つまり，複数人で体験する場合において，身体スケールの変化が同様に生じるかどうかは不明である．

さらに，複数人が身体スケールの変容を共有可能な環境を構築することで，新たなユーザ体験を創出できる可能性もある．そこで本研究では，まずMR側の1名に対してVR側に複数人が参加する体験空間へとシステムを拡張し，ユーザの身体スケールの変容に着目したコンテンツを作成した．

本作品は，MR空間で捕食者のパンダを操作する「MRプレイヤー」と，VR空間で被食者の小動物を操作する「VRプレイヤー」に分かれて対戦を行う（図1），リアルワールドメタバース体験型作品である．VRプレイヤーは最大3名まで参加可能で，ネズミ，ウサギ，トリの3種から1体を選択する．両者は互いに視認可能であり，それぞれの動きは相手の空間にもリアルタイムで反映される．MRプレイヤーは現実空間を実際に歩いて移動し，VRプレイヤーは動物の特性に応じてコントローラを振ることで移動する．

MRプレイヤーは，3Dプリントされた銃型コントローラから放出される網を用いて小動物を捕獲可能であり，VRプレイヤーは各動物に固有の特殊能力を活用して回避を試みる．作品は，MRプレイヤーがすべてのVRプレイヤーを捕獲するか，VRプレイヤー側が制限時間まで逃げ切ることで終了する．

よって，本作品では，複数人が自身のスケールが縮小されたVR空間に共存する環境を構築することで，その中でのインタラクションや他者の存在を通じて，自身の身体スケールがどのように知覚されるかを検証することが可能となる．

3. システム実装

本システムのネットワーク構成を図2に示す．全てのプレイヤーが装着するHMD（Head-Mounted Display）には，MRおよびVRの両体験に対応可能なMeta Quest 3を採用した．本デバイスはスタンドアロン型でありながら，高性能なプロセッサとセンサを搭載しており，外部PCを必要とせず自由な移動を実現する．

本システムは，MRプレイヤーであるパンダ側と，VRプレイヤーである小動物側の体験が明確に分かれる非対称構成を特徴とする．MRプレイヤーは，Meta Quest 3のパススルー機能を用いて現実空間を視認しつつ，仮想の小動物やUI，エフェクトを重畳表示するMR体験を提供する．これは，現実の障害物を活用した戦略的な追跡を可能にする設計である．

VRプレイヤーはパススルー機能を使用せず，MR空間と一致するようにマッピングされたVR空間のみを視認することで，追われる感覚と没入感を強調した体験を実現している．

開発には，XRコンテンツ制作に適したUnity（バージョン6000.036f1）を使用した．また，MRプレイヤーの操作性向上のため，Meta Quest Touch Plusコントローラを3Dプリント製の銃型マウントに固定し，網を発射する動作と身体動作を一致させることで，直感的な操作性と現実感を高めた．

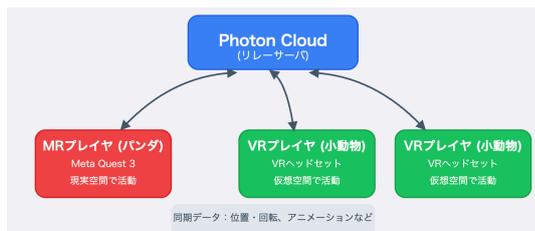


図2 ネットワーク構成

3.1 プレイヤ間の通信

本システムにおける複数プレイヤー間のリアルタイムな状態同期は、導入の容易さと安定性の観点から評価の高い通信ミドルウェアである Photon Unity Networking 2 (PUN2)¹ を用いて実現している (図2)。

ネットワークトポロジーには、PUN2 が提供する Photon Cloud サービスを利用したリレーサーバ形式を採用し、各プレイヤーのクライアントは Photon のクラウドサーバを介して通信を行う。これにより、サーバの自前構築や管理コストを排除しつつ、低遅延な通信環境を構築している。

同期対象となるデータは多岐にわたる。各プレイヤーアバタの位置座標 (Transform) と回転情報 (Rotation) といった継続的な状態の同期には PhotonTransformView コンポーネントを使用している。このとき、ネットワーク経由で受信した離散的な座標データをそのまま適用すると動きが不自然になるため、補間 (Interpolation) 処理を有効にし、視覚的に滑らかな移動となるよう調整している。さらに、歩行、飛行、ジャンプといったキャラクターの動作は PhotonAnimatorView を介して Unity の Mecanim アニメータで管理されるパラメータを同期することで視覚的に再現している。

一方、パンダによる小動物の「捕獲」や、小動物からパンダへの「攻撃」など、瞬間的に発生する作品イベントの伝達には RPC (Remote Procedure Call) を利用している (図3)。例えば、パンダが網を発射して小動物に命中した場合、MR プレイヤーのクライアントが RPC を呼び出し、VR プレイヤー側のクライアントで「捕獲された」という処理を即座に実行する。このようなイベント駆動型の通信と状態同期を組み合わせることで、効率的かつ正確なインタラクションを実現している。

また、作品全体の進行に関わる情報、例えばプレイヤーの役割 (パンダ/小動物の種別)、生死状態、残り時間などのグローバルな状態は、PUN2 の Photon Custom Property 機能により管理している。これはルーム全体で共有される辞書型データであり、途中参加したプレイヤーもルームプロパティを同期することで、現



図3 RPCによるイベント同期

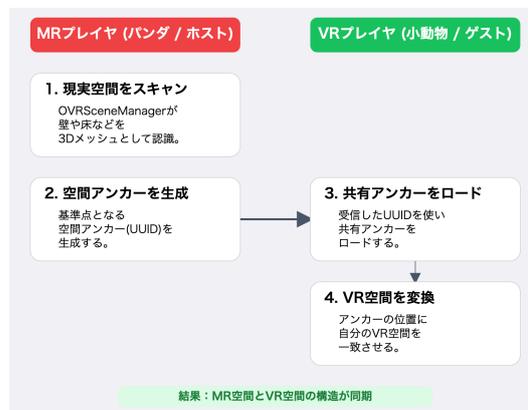


図4 MR空間とVR空間の位置合わせ手順

在の作品状況を即座に把握できるという利点がある。

なお、リアルワールドメタバースはネットワーク遅延の影響を受けやすいため、オブジェクトの重要度に応じて PhotonView の更新頻度 (Send Rate) を個別に調整するなど、通信負荷を最適化し、快適なプレイ体験の維持を図っている。

3.2 MR空間とVR空間の位置合わせ方法

リアルワールドメタバース体験を技術的に成立させているのが、MR プレイヤーが存在する MR 空間と、VR プレイヤーが活動する VR 空間を精密に重ね合わせる位置合わせ技術である。この処理は、Meta Quest 3 に搭載されたインサイドアウト方式の SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術と、Meta XR All-in-One SDK が提供する主要コンポーネントである OVRSceneManager および OVRSpatialAnchor² によって実現されている。

位置合わせのプロセスは、まず MR プレイヤー (パンダ側) による MR 空間のスキャンから始まる。OVRSceneManager は、デバイスのカメラおよびセンサーから取得した情報をもとに、壁・床・天井・家具などの構造をリアルタイムに 3D メッシュとして認識・再構築する。加えて、OVRSemanticLabels 機能により、これらのオブジェクトには「壁」や「床」といった意味情報が付与され、それぞれに物理的な衝突判定 (Collider) が自動的に設定される。

続いて、このスキャン結果に基づいて、安定かつ永続的に追跡可能な特徴点に空間上の基準点 (アンカー)

1: <https://www.photonengine.com/pun>

2: Meta Developer Documentation



図5 3D プリントされた銃型コントローラ



図6 MR プレイヤが体験する様子

として OVRSpatialAnchor を生成する。このアンカーはデバイス内に保存され、OVAS (OVRSpatialAnchor Sharing) という仕組みによって一意の識別子 (UUID) を他のユーザと共有可能である。

具体的な同期手順は次の通りである (図 4)。まず、ホストである MR プレイヤ側のクライアントが生成した基準アンカーの UUID を、PUN2 ネットワークを介してゲストである VR プレイヤ側の全クライアントに送信する。UUID を受信した VR プレイヤ側のクライアントは、その ID をもとに共有された OVRSpatialAnchor を非同期でロードする。ロードが完了すると、アンカーが示す MR 空間上での正確な位置と向きを取得し、自身の VR 空間全体 (シーンのルートオブジェクト) をそれに一致させて変換する。

この一連の処理により、MR プレイヤが現実空間で見ている机は、VR プレイヤ側の VR 空間においても、正確に同じ位置とサイズの障害物として存在する。その結果、MR プレイヤが現実の壁を盾にして身を隠すような行動は、VR プレイヤにとっても作品戦略上の影響を及ぼすこととなり、現実と仮想が密接に融合した高度なインタラクションが実現される。

3.3 MR プレイヤ (パンダ) の操作

まず、MR 体験の構築にあたっては、Meta All-In-One SDK に含まれる OVRCameraRig を用い、その



図7 各小動物の操作

中の Passthrough 機能を利用した。次に、パンダのモデルとユーザの身体動作の連携は、OVRCameraRig の usePositionTracking 機能によって実現している。プレイヤーの頭部位置は HMD のトラッキング情報をもとに取得し、手の位置は左右のコントローラの座標を使用している。これらの情報をキャラクタの対応するボーンに反映させることで、ユーザが MR 空間内で移動や動作を行うと、パンダのモデルも連動して動作するよう設計されている。

また、3D プリンタによって設計・製作された銃型コントローラマウントを作成した (図 5)。これに Meta Quest 3 のコントローラを装着することで、実際に銃を手にしてしているような感覚を提供している。右手のコントローラでトリガーを引くと、仮想の網が銃の先端から射出され、これが小動物に命中すると「捕獲」となる (図 6)。

キャラクタの身体動作には、逆運動学 (Inverse Kinematics; IK) による補完を導入した。左右の手の位置はコントローラから取得し、Unity の IK システムを用いて手首から肘のボーンを補間することで、自然な腕の動きを再現している。頭部は位置情報を基に、SetLookAt 関数により視線方向を表現した。足の動きについては、HMD の移動に応じて歩行アニメーションを再生する方式を採用した。さらに、OVRSceneManager で認識した床面や家具に衝突判定を設定し、網が空間外へ飛び出さないよう制御している。

3.4 VR プレイヤ (小動物) の動き

VR プレイヤの体験は、MR 環境に設置された大道具セットの横で実施される。登場する小動物はネズミ、ウサギ、トリの 3 種類であり、各種ごとに異なる移動様式が設定している (図 7) 実際の VR プレイヤが体験する様子を図 8 に示す。

これら 3 種類のアバタは、視覚的な身体スケールは同程度に小さいものの、入力動作の大きさが意図的に異なるように設計されている。これは、入力動作の大きさがユーザの身体スケール知覚に与える影響を検証するためである。具体的には、ネズミはコントローラ



図8 VRプレイヤーが体験する様子（トリ）



図9 イベント当日の展示の様子

を小刻みに振る最も小さな入力動作で移動できるように設定されている。ウサギは両腕を振り上げるジャンプ動作を特徴とし、トリとネズミの中間の入力動作を持つように設計されている。トリは両腕を大きく羽ばたかせる大きな入力動作によって飛行できるように設計されている。

【ネズミの操作】ネズミの操作は、歩行および壁登りの2種類の移動手段を有する。歩行はウサギと同様に、左右のコントローラを上下に振ることで実現され、移動方向はプレイヤーの視線に従って決定される。

壁登りは、キャラクターが壁に接触している間に前進動作を行うことで、垂直方向への移動が可能となる。この状態では重力が一時的に無効化され、キャラクターは壁に沿って上昇する。壁から離れると重力が再び有効化され、自然な落下挙動へと復帰する。

【ウサギの操作】ウサギの操作には、歩行とジャンプの2種類の移動動作が実装されている。

歩行は、左右のコントローラを上下に振ることで実現される。各コントローラのY軸方向の速度の絶対値を取得し、その合計に移動速度係数を乗じた値を前進速度として適用する。動作が一定の閾値を下回る場合には移動が発生せず、微小な動きによる誤作動を防止している。進行方向はプレイヤーの視線方向、すなわちカメラの向きに基づいて決定される。

ジャンプは、両手のコントローラを前方に振り上げながらAボタンを押下することで発動する。この動作が成立するには以下の4条件を同時に満たす必要がある：(1) 両手の動きが所定の速度以上であること、(2) 左右の速度差が小さいこと、(3) 両手が前方に振り上げられていること、(4) キャラクターが地面に接地していること。これらの条件が揃うと、キャラクターは斜め上方に跳躍する。

【トリの操作】トリは飛行能力を持ち、プレイヤーが両手のコントローラを一定以上の勢いで継続的に振ることで、羽ばたき動作と認識され、飛行モードに移行

する。この移行は、弱く断続的な動作では起こらず、意図的かつ連続した操作が必要となる。飛行モードでは、初回の羽ばたきで上昇し、その後はプレイヤーの視線方向に従って空中を移動する。水平方向・垂直方向の両方に対応しており、滑空のような自由度の高い操作が可能である。飛行中は重力の影響を受けず、視線を上に向ければ上昇、下に向ければ下降する。両手の動きが一定時間小さくなると飛行モードは自動的に終了し、その場で移動が停止する。空中にいる場合は、自由落下が発生する。

【その他の設定】プレイヤー間の相互作用と作品の動的変化を促すため、「妨害」システムを導入した。プレイヤーはVR右手コントローラで赤色レーザー風の「妨害銃」を発射し、他プレイヤーの移動能力を一時的に制限できる。弾は前方に飛翔し、命中時に以下の効果が約3秒間発動する。1. キャラクターごとの移動能力が低下する（例：ウサギはジャンプ力と速度、トリは飛行速度）。2. キャラクターが赤く変化し、画面にフラッシュが表示される。3. 効果終了後、自動で通常状態に復帰する。リキャスト中は視覚・聴覚で使用不可を通知する。妨害の発射から解除までの一連の処理は、ネットワーク同期によりリアルタイムで再現され、戦略的かつ没入的なマルチプレイ体験を実現している。

小動物はパンダの放つネットに接触すると幽霊状態に移行する。この際、画面は徐々に暗転し、最終的にモノクロ化する演出と効果音により、死亡が強調される。幽霊状態では敵から逃げる必要がなくなり、プレイヤーの行動は妨害に集中するが、妨害の再使用には通常より長い待機時間が設定されている。この制限により、プレイヤーの行動戦略に変化をもたらす設計となっている。

4. 体験の流れ

全体の流れは、以下の時間配分および進行で実施された。

【1. 事前説明 (約 2 分)】映像資料を通じて、作品のストーリー、目的、操作方法について説明を行った。参加者は、作品内での役割分担や勝敗条件、基本的なインタラクションの概要を理解することで、以降の体験に向けた認知的準備を整えた。

【2. チュートリアル (約 3 分)】各プレイヤーが担当する小動物キャラクターに応じた基本操作を体験的に学習した。空間内での移動、腕の動きによるアクション、視線方向に基づく移動など、操作性と空間認識の向上を目的としたガイダンスが行われた。

【3. 本番プレイ (約 2 分)】最大 4 名のプレイヤーによる“鬼ごっこ”形式の対戦が実施された。1 名が MR 空間上で「パンダ」として追跡を行い、残る最大 3 名が VR 空間上の「小動物」(ネズミ、ウサギ、トリ)として逃走する構成である。作品の終了条件は次のいずれかである：

- パンダがすべての小動物を捕獲した場合
- 小動物が 2 分間逃げ切った場合

小動物には個別に異なる移動スタイルが実装されており、たとえば「トリ」は両腕を一定以上の速度で振ることで飛行状態に移行する。捕獲された小動物は「幽霊状態」となり逃走はできないが、妨害行動は継続可能である。

【4. 体験後のフィードバック】体験終了後にアンケート調査を実施し、UX やインタラクションに関するフィードバックを収集した。

5. 作品の展示

5.1 展示概要

本作品は、2025 年 5 月 18 日に開催された「いばらき X 立命館 DAY 2025」にて展示された。一体験あたり 4 名程度となるよう体験回数を調整し、合計約 300 名の参加者が体験を行った。

プレイエリアにおいては、体験者の移動や操作に支障が出ないように十分な動線を確認し、安全に配慮したレイアウトとした。

観客視聴エリアにはモニターを設置し、プレイ中の様子を中継することで、会場全体から体験の状況が視認できる構成とした。さらに、各展示には説明パネルおよびデモ映像を配置し、来場者が体験内容をより深く理解できるよう情報提供を行った。図 9 は、当日の会場レイアウトと観客・体験者の様子を示している。

6. 体験後アンケートによる評価

作品終了後には、参加者に対するアンケート調査と簡単なヒアリングを実施した。ここでは、身体所有感、操作性、空間認識、および他プレイヤーとのインタラクションに関する主観的評価を収集した。特に、VR プ

レイヤ側のプレイヤーからは、VR 空間内で自身が操作する小さな動物のスケールと対比して、MR 空間から現れる巨大なパンダの存在が、自身の身体サイズをより一層小さく感じさせるという興味深いフィードバックが多数得られた。具体的には、「パンダが近づいてきた時」や「視界内でパンダが大きく動いた時」に、その感覚が顕著になったという意見が多く、MR オブジェクトとの相対的な距離感や動きが、VR ユーザの身体知覚に強い影響を与える可能性が示唆された。

【MR プレイヤの評価】MR プレイヤ (31 名) には、MR 空間における現実との整合性および小動物の動きの自然さについて調査を行った。

「現実空間とのずれ」については、約 74.2%が「全く感じなかった」「あまり感じなかった」と回答し、高い整合性が確認された。一方で、「壁に埋まる」「鳥が無敵になる」「網の発射に遅延がある」など、ネットワーク遅延や物理演算に起因する不具合も一部で報告された。

「小動物の動きの自然さ」に関しては、58.0%が肯定的に評価したが、「その場で回る」「分身する」「ワープする」といった不自然な挙動も指摘され、アニメーションや同期処理に改善の余地があることが示唆された。

【VR プレイヤの評価】VR プレイヤ (39 名) には、VR 空間における自己の身体感覚 (身体所有感) の変化について調査を行った。体験者はウサギ 3 名、トリ 23 名、ネズミ 13 名であった。

まず、「VR 空間における大きさの感覚」については、小動物全体で「非常に感じた」(59.5%)、「少し感じた」(29.6%)との回答が得られ、合計 89.1%が身体サイズの縮小感を体験していた。この傾向は動物種別でも一貫しており、特にウサギ役では全員(「非常に感じた」66.7%、「少し感じた」33.3%)が縮小感を感じたと回答した。トリ役 (67.6%) およびネズミ役 (70.0%) においても、多くのプレイヤーが肯定的に回答しており、縮小感は種別を問わず広く体験されていた。これにより、複数人で身体スケールの縮小を共有しながら体験可能であることが確認された。

また、「チュートリアルのシーンと作品開始のシーンで、ご自身の体のサイズがより小さく感じられたのはどちらでしたか?」という質問も行った。チュートリアルでは背景のみが表示され、自身が単独で操作する構成である一方、作品開始のシーンでは他の小動物や巨大なパンダが出現する。

この質問に対し、回答者全体の 85.2%が「作品開始のシーン (他のプレイヤーが見えている時)」と回答した。これは、チュートリアル中には比較対象が存在せず縮小感が薄いのに対し、作品本番において巨大なパンダが登場することで、相対的な比較により身体サイ

ズがより小さく感じられたことを示唆している。この傾向は特にトリ役（85.7%）およびネズミ役（75.0%）で顕著であり、ウサギ役（66.7%）においても過半数が作品開始後に縮小感を強く感じたと回答していた。これらの結果は、巨大な他者（パンダ）の存在がスケール知覚に強く影響を及ぼすことを示している。

続いて、「どのような時に、小さくなったと感じましたか？」という質問に対しては、66.7%が「動いているパンダを見た時」、14.8%が「静止したパンダを見た時」と回答しており、VR空間においてパンダの視認が縮小感の認知に大きく寄与していたことがわかる。特に、トリ役（66.7%）およびネズミ役（75.0%）では「動いているパンダ」が圧倒的な要因であった。一方、ウサギ役では「動いているパンダ」「静止したパンダ」「柵などのセットを見た時」がそれぞれ33.3%と同率であり、パンダに加えて環境オブジェクトも身体スケールの知覚に影響を与えていたことが示唆される。

さらに、「動作時に感じる大きさの感覚の変化について」という質問（身体的なアクションが縮小感に与える影響）に対しては、「非常によくあった」（14.7%）、「少しあった」（20.6%）と回答したプレイヤーが合計で35.3%を占めた。動物種別に見ると、ネズミ役（40.0%）が最も高く、次いでウサギ役（33.3%）、トリ役（27.8%）の順であった。この結果は、小さな動作が特徴のネズミでは縮小感がより強く知覚されやすく、反対に大きな動作を伴うトリでは縮小感が相対的に薄れる可能性があることを示している。

【課題】 ユーザ体験（UX）の観点では、作品バランスの調整が主な課題として挙げられた。特に、プレイ時間の最適化、パンダと小動物間の能力差、小動物間の性能差の是正が求められる。加えて、逃げ場の少なさや、身長が低い体験者がパンダを操作する際にトリを捕まえにくいといったUX上の問題も確認された。

技術面では、小動物が部屋の外に出てしまう不具合や、衝突判定・物理演算の不整合が報告された。アンケート結果からは、「ワープ」「分身」「動きのぎこちなさ」など、位置ズレや同期遅延に起因する現象が、没入感を損なう要因となっていることが明らかとなった。

さらに、首が床に埋まる感覚や、動作スケールに対する違和感といった身体的負荷、およびVR酔いへの対策も求められる。今後は、位置合わせ精度の向上、通信処理および物理演算の最適化を通じて、より安定し、自然な没入体験の実現が課題となる。

7. まとめ

本研究では、リアルワールドメタバースの実現に向けた取り組みとして、MRプレイヤーとVRプレイヤーが共有空間内で非対称なおにごっこを行う体験型コンテ

ントを設計・実装した。本システムの開発および展示評価を通じて、ユーザ体験の観点から複数の実践的知見を得た。

本システムは、1名のMRプレイヤーに対して複数のVRプレイヤーが同時に参加可能なリアルワールドメタバースを構築しており、複数のVRプレイヤーが同一空間を共有しながら、身体スケールの縮小を同時に体験できることを確認した。さらに、この身体スケールの変容は、自分より大きな他者（パンダ）との視覚的対比に加え、多様な身体動作や環境オブジェクトとの相互作用によっても生起することが明らかとなった。

一方で、通信遅延に起因する同期ずれ、物理演算の不具合、VR酔いなど、ユーザ体験（UX）上の課題も確認された。今後は、これらの技術的課題を解決し、MR空間とVR空間間の同期精度の向上や、身体知覚に影響を与える視覚情報の設計に関するさらなる検討が求められる。

将来的には、本研究で得られた「現実と仮想を融合するインタラクション技術」を、エンターテインメント分野にとどまらず、教育、リハビリテーション、遠隔協調設計など、さまざまな応用領域へ展開することを目指す。

参考文献

- [1] Y. Higaki: Building the real-world metaverse, 2022. URL: <https://nianticlabs.com/news/building-the-realworld-metaverse>, (Accessed: 2025/01/06)
- [2] Z. Lv, W.-L. Shang, M. Guizani: Impact of Digital Twins and Metaverse on Cities: History, Current Situation, and Application Perspectives, *Applied Sciences*, 12(24), 12820, 2022.
- [3] R. Inoue, K. Hattori, H. Iwasaki, F. Nakamura, A. Kimura, and F. Shibata: Digital twin construction for real-world metaverse: A case study of a collaborative escape game, *Proc. 16th Asia-Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (AP-MAR 2024)*, 2024.
- [4] G. Riva: Virtual Reality in Psychological Assessment: The Body Image Virtual Reality Scale, *CyberPsychology & Behavior*, Vol. 1, No. 1, pp. 37 - 44, 1998.
- [5] A. T. Jiménez, D. Banakou, N. B. Berthouze and M. Slater: Embodiment in a Child-Like Talking Virtual Body Influences Object Size Perception, Self-Identification, and Subsequent Real Speaking, *Scientific Reports*, Vol. 7, Article. 9637, 2017.
- [6] M. Pouke, G. E. Center, Chambers, P. Alexis, S. Pouke, Sakaria, T. Ojala, and M. S. Lavalley: The Body Scaling Effect and Its Impact on Physics Plausibility, *Frontiers in Virtual Reality*, Vol. 3, 2022.
- [7] E. Langbehn, G. Bruder, and F. Steinicke: Scale Matters! Analysis of Dominant Scale Estimation in the Presence of Conflicting Cues in Multi-Scale Collaborative Virtual Environments, *2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces*, pp. 211 - 220, 2016.