

5x5Cuboid を用いた AR 迷路での 探索時間とエンターテインメント性の比較

田邊基起^{†1} 天満誠也^{†2} 山中正敬^{†2} 西山佳吾^{†2} 小山惇之介^{†2} 中道上^{†2†3}

概要: 本研究では、巨大迷路の探索時間とエンターテインメント性の関係を探査し、固定壁迷路、固定 AR 迷路、ランダム AR 迷路の3つの環境を用いて比較実験を行った。参加者7名を対象に、各迷路の探索時間と楽しさの評価を収集し、AR 技術が迷路のエンターテインメント性に与える影響を明らかにした。結果として、AR 迷路が巨大迷路よりも高いエンターテインメント性を提供していることが示された。特に、ランダム AR 迷路が最も楽しさの評価が高い結果が得られ、探索時間も長くなった。

1. はじめに

近年、イベントなどで段ボールやエア遊具といった様々な形で巨大迷路が楽しられている。巨大迷路は、1980年代に流行したランズボローメイズの流れを汲むものが多い。ランズボローメイズとは、1980年代に起こった巨大迷路ブームの際に多くの巨大迷路を手掛けた、スチュワート・ランズボロー氏から由来する。この迷路の特徴は、可動式の板扉を利用しており、定期的に設計を変えて異なるパターンの迷路を提供することが可能である。しかし、近年の巨大迷路では、ランズボローメイズの理念を継承しない固定の壁を用いる迷路（壁を固定された迷路）や難度の高さだけを煽った施設など、正規外の模倣されたものが主流となっている。そのため、これらの迷路においては道順が固定されており、繰り返し遊ぶ場合、迷路のような数あるパターンから最適解が発見されたゲームは、「飽き」が生じてしまうという問題がある[1]。その問題を解決するものとして遊ぶごとに道順を変更することができる「みえないめいろ」[2]環境が提案されている。

本研究では、巨大迷路のエンターテインメント性に着目する。巨大迷路において道順が固定されている場合と毎回の道順が異なる場合（以降、ランダムと呼ぶ）の探索時間や楽しさの変化について分析する。巨大迷路と5x5 Cuboid環境でAR迷路を構築し、道順固定と道順ランダムの迷路環境を実現した。そしてそれぞれの迷路で迷路を繰り返した場合における探索時間の変化や楽しさの変化について分析をおこなった。

2. 実験準備

本研究では、センサーやAR、VR等の技術を組み合わせてエンターテインメント環境を実現するための人間行動を計測する環境として提案されている「5x5 Cuboid」[3]を用いて、迷路の計測実験を行う。

2.1 人間行動計測環境「5x5 Cuboid」

5x5 Cuboid は、プラスチック段ボールで作られた25本の

柱を持つ環境である。5x5 Cuboidでは、迷路の壁は取り除かれており、基点となる迷路の柱だけが配置されている。5x5 Cuboidを従来の巨大迷路として使用する場合は、柱と柱の間に壁を配置することによって巨大迷路環境を実現することが可能である。

5x5 Cuboidの柱は、縦180cm、横90cmの標準サイズのプラスチック段ボール板を4枚組み合わせる形で作られている。この柱に使用されているプラスチック段ボールは軽量で丈夫であるため、ぶつかっても怪我をしにくい。また、4枚のプラスチック段ボール板は接合されており、折り畳み可能であるため、設営や撤去も容易に実施することができる。

2.2 みえないめいろ

提案されているみえないめいろ[2]では、Beaconを利用したロケーション技術を用いることによって1つの施設において複数の迷路を体験可能にしている。提案アトラクションの模型を図1に示す。提案アトラクションでは、一切の壁を取り払い、基点となる柱のみを設置する。そして、迷路で必須の壁は、Beaconと携帯端末を組み合わせることにより、仮想の隠れた壁として機能させる。目で実際に見ることが出来ない隠された迷路であることから「みえないめいろ」と名付けられた。

5x5cuboid環境を用いたみえないめいろを実施した際の利点として、従来の巨大迷路に比べて以下の利点があることが報告されている。

(1) 繰り返し遊ぶことが可能

壁を取り払い、画面上で表示させることにより複数パターンの迷路を同時に複数人が利用することが可能である。また、定期的な壁の変更も、端末内での迷路の設定の変更のみで可能であるため、迷路変更にかかる時間が短い。

(2) 利用者へのフォローが行いやすい

一切の壁をなくしたことによって遮蔽物が少なく、迷路内で困っている利用者に対して素早く対

1 福山大学大学院情報工学研究科

2 福山大学工学部情報工学科

3 アンカーデザイン株式会社

応が可能である。そのため、アトラクション内部へスタッフを配置する必要がないため、運営スタッフの人員を減らすことが可能となった。

(3) 混雑状況の把握が容易

外からアトラクション内部を確認できるため、混雑状況を把握しやすく、次組の出発タイミングの調整が容易である。

(4) 子供だけでも遊ばせられる

万が一の事故でもケガをしにくいプラスチック段ボールや重くないデバイスを用いているため、親がそばにつきあわずに子供だけでも安心して遊ぶことができる。

2.3 AR 迷路

5x5 Cuboid を用いた新たな巨大迷路として、AR 迷路を検討する。5x5 Cuboid 環境での AR 迷路を図 1 に示す。AR 迷路では、モバイル端末のカメラと AR マーカーを利用した AR 技術を利用する。5x5 Cuboid 内の壁位置に AR オブジェクトを表示することで、巨大迷路を実現する。また AR マーカーのデザインを複数用意することによって、それらを組み合わせて複数の巨大迷路を実現することが可能となる。今回利用した AR マーカーの一部を図 2 に示す。また今回、表示させる AR オブジェクトを柱の大きさに合わせて表示させた。その壁オブジェクトを図 3 に示す。

本研究では、AR 迷路の壁として AR オブジェクトを表示されるようにした AR 迷路と従来の実空間上に壁が常にある巨大迷路を探索時間とエンターテインメント性の評価で比較を行う。AR オブジェクトを表示するための AR マーカーは、地面や柱など様々な位置に配置可能である。今回は AR マーカーを地面に設置した場合を想定し、検討を進める。

2.4 迷路探索のエンターテインメント性

現在、EC（エンターテインメントコンピューティング）分野においては「エンターテインメント＝楽しませるもの」と捉え、この観点において「有用＝役に立つ」のかどうか判断基準とされている。しかし一般的にエンターテインメントと呼ばれる対象および手法は多岐に渡っており、また、楽しめるかどうか受容者個人に大きく依存する。「快＝心の動き」という説が挙げられている[4]。この中で喜や楽の状態にありながら緩急をつけて揺り動かすことがより楽しめることにつながると記されている。しかし、この中の感情の動きには、時間軸の観点では見られていないため、慣れや飽きによる感情の変化が考慮されていない。

本研究では、迷路探索のエンターテインメント性を、迷路そのものの難しさと楽しさに加え、繰り返し迷路を遊んだ場合の楽しさの継続性とする。迷路そのものの難しさ（難易度）の指標として探索時間を計測する。難易度が高いほど迷路の探索時間が長くなると考えられる。また繰り返し迷路を遊んだ場合の楽しさの継続性として、探索時間が長



図 1. 5x5_Cuboid 環境での AR 迷路



図 2.今回使用した AR マーカー

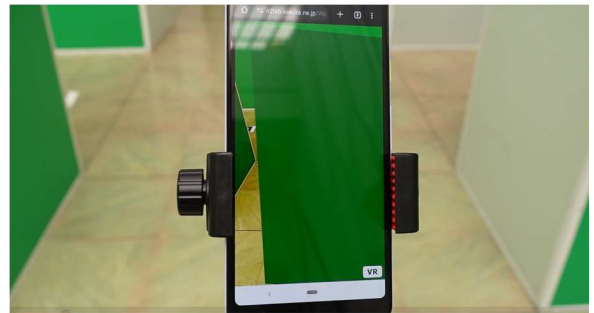


図 3.本実験で用いた AR 壁オブジェクト

いほどエンターテインメント性が高いと考えられる。

3. 固定壁迷路, 固定 AR 迷路比較実験

本実験では、壁迷路（従来の物理的な壁が用意された巨大迷路）と AR 迷路を繰り返し探索した場合における、迷路探索時間と楽しさの評価を比較する。

3.1 実験手順

実験では、7 人の参加者が迷路探索実験に参加した。参加者の探索時間の測定では、参加者はストップウォッチのスタートボタンを押して迷路を開始し、迷路のゴールに到達したらストップウォッチのストップボタンを押して計測を行った。一回ずつ探索してもらい、探索時間の計測と、エンターテインメント性を 10 段階で評価してもらうことを行った。以後の計測ではこの初めに計測した、探索時間と楽しさの値を基準値とする。

その後、迷路の道筋が固定されている壁迷路を 5 回繰り返し、探索してもらう。迷路の探索時間は反復ごとに測定された。楽しさの測定では、初めの基準値から +5～-5 の

10段階で変化がどれほどあったのかを計測する。またAR迷路も同様に、5回体験してもらい、探索時間の測定と楽しさの評価がどれほど変化するかを評価した。今回の実験で繰り返し同じ迷路を探索する実験を、固定壁迷路と、固定AR迷路と表す。

3.2 探索時間の比較

固定壁迷路の探索時間を図4に示し、固定AR迷路の探索時間の変化を図5に示す。横軸は迷路探索回数であり、縦軸は探索時間である。グラフのA~Gは参加者を表している。今回、図4の探索時間のグラフではデータが0~90の範囲に集中しており、もう一方の図5のグラフでは0~350でデータの範囲が広い。このため、両方のデータを同じ0~350の尺度に合わせると、一方のグラフではデータが極端に狭い範囲に圧縮され、分析が難しくなる。図4のデータの変動が相対的に小さく見え、差異や傾向の詳細な把握が難しくなるため、データの本来の範囲を尊重して表示をしている。それによって、データの機微を適切に捉え、正確な分析を行えるようにした。

図4を見ると、壁迷路を繰り返した場合における迷路探索時間は、回を重ねるごとに短くなっていることがわかり、参加者A以外については5回目で10秒付近まで短くなっている。一方で図5を見ると、AR迷路を繰り返した場合における探索時間は5回目で30秒付近となっており、壁迷路の結果(図4)と比較すると、AR迷路の方が、20秒ほど探索時間が長いことがわかる。このことから、固定AR迷路が参加者に慣れや飽きを生じさせにくいと考えられる。

3.3 楽しさの評価比較

固定壁迷路の楽しさの変化を図6に示し、固定AR迷路の楽しさの変化を図7に示す。横軸は迷路探索回数であり、縦軸は探索時間である。グラフのA~Gは参加者を表している。

図6および図7より、固定AR迷路の楽しさの評価は固定壁迷路に比べて常に高い評価を得られていることが分かる。また回数を繰り返した場合のデータの傾きに注目すると固定壁迷路の方が固定AR迷路より、回を繰り返すごとに楽しさの評価が低下している。他にも、固定壁迷路の楽しさの評価平均に着目すると5回目の段階で基準値から7.71から5.29の2以上低下しているのに対して、固定AR迷路での楽しさの評価では、8.14から7.00までの1.14しか低下していないことがわかる。すなわち、固定壁迷路よりも固定AR迷路のほうが、迷路の楽しさが高くかつ、それが回数を重ねても持続しやすいということである。

これらの結果から、固定壁迷路と固定AR迷路では同じ経路の迷路を繰り返し探索しているにもかかわらず、楽しさの評価値に差異が生じているという結果が得られた。この差異が、AR技術そのものがもたらす楽しさの違いを示している可能性が考えられる。

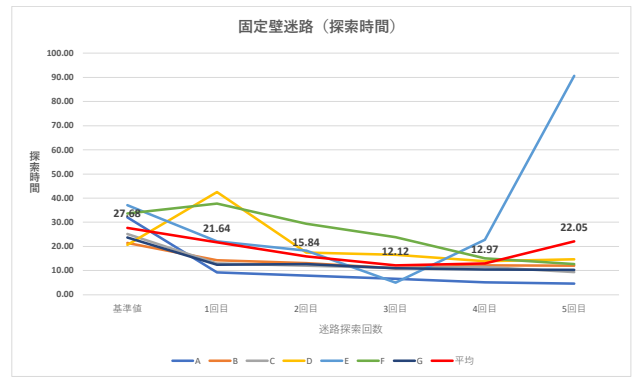


図4.固定壁迷路の探索時間比較

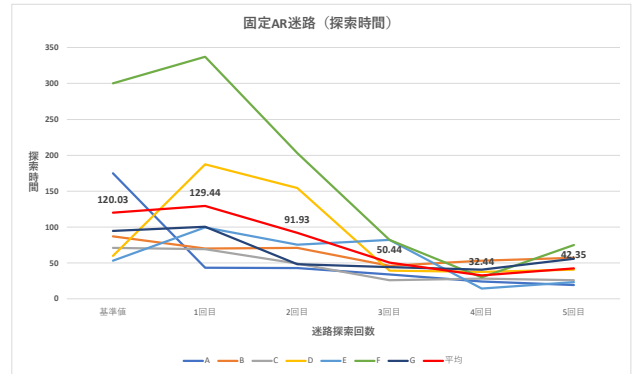


図5.固定AR迷路探索時間

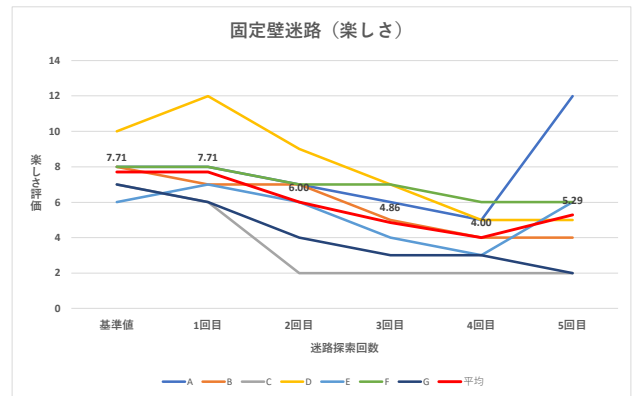


図6.固定壁迷路の楽しさの評価

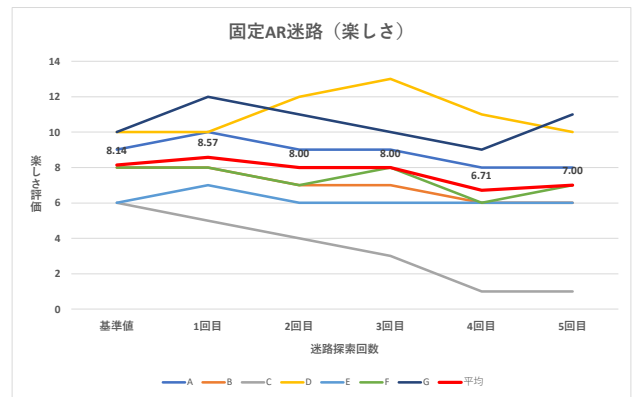


図7.固定AR迷路での楽しさの評価

4. 固定 AR 迷路, ランダム AR 迷路比較実験

前章まででは、迷路探索回数を繰り返した場合でも、迷路の道順が固定されている場合で、比較を行っていたが、迷路の道順がランダムに変化する場合も AR 迷路で開発し、比較を行った。

迷路を繰り返すごとに迷路の道順が変化する場合を AR 迷路で構築し追加実験を行った。迷路のパターンを 5 種類用意し、繰り返し探索すごとに迷路の道筋がランダムなパターンに変化する AR 迷路で迷路を繰り返した場合における探索時間とエンターテインメント性の変化を記録した。

最初の比較実験と同様に迷路を 5 回探索してもらう。この時に探索する迷路のパターンは毎回変化する。迷路の探索時間は反復ごとに測定された。エンターテインメント性の測定では、初めの基準値から +5~-5 の 10 段階で変化がどれほどあったのかを計測する。

4.1 探索時間の変化

ランダム AR 迷路の探索時間の変化を図 8 に示す。横軸は迷路探索回数であり、縦軸は探索時間である。グラフの A~G は参加者を表している。

この図のランダム AR 迷路の平均の値に注目すると、繰り返し遊んだ場合でも 60 秒以上、探索することができている。つまりランダムなパターンで迷路を配置することにより何度でも、長く探索をおこなうことができる。図 5 の固定壁迷路、固定 AR 比較実験での固定 AR 実験の探索時間と比較する。固定 AR 迷路の探索時間が迷路を繰り返すごとに、探索時間が短くなっているにもかかわらず、今回のランダム AR 迷路では、迷路の内容による探索時間の変化はあるものの、回数を重ねても基準値から約 40 秒しか短くなっていない。そのため、ランダムでは、迷路を覚えることによる、探索時間の低下が抑えられている。

4.2 楽しさの評価変化

ランダム AR 迷路の楽しさの評価を図 9 に示す。横軸は迷路探索回数であり、縦軸は楽しさの評価である。グラフの A~G は参加者を表している。

図 9 の平均の値に注目すると、初めて AR 迷路を体験した際の評価である基準値と比べても、4 回目以外は基準値よりも高い値を示している。また常に楽しさの評価で 8 以上の値であり、ランダム AR 迷路の楽しさの評価がとて高いことが分かる。ランダム AR 迷路では、楽しさの評価が迷路探索を繰り返しても、基準値からほぼ減少していないことが分かる。これらの結果からランダムなパターンで迷路を配置することによって何度でも、楽しく探索をおこなうことができることが明らかとなった。

これらの結果から、固定壁迷路は探索時間が短く、楽しさの評価も回数を繰り返すごとに低くなっている。これは迷路の構造が予測可能であるため、参加者が比較的早く飽

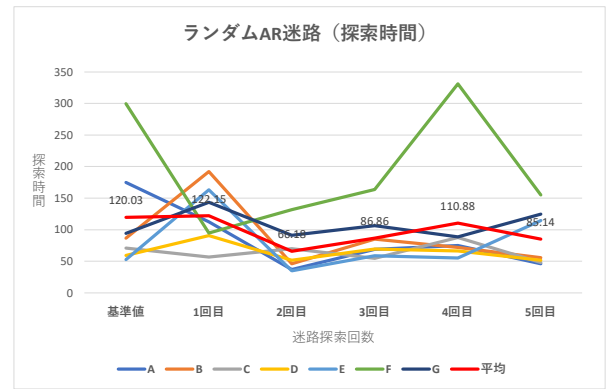


図 8.AR 迷路での探索時間

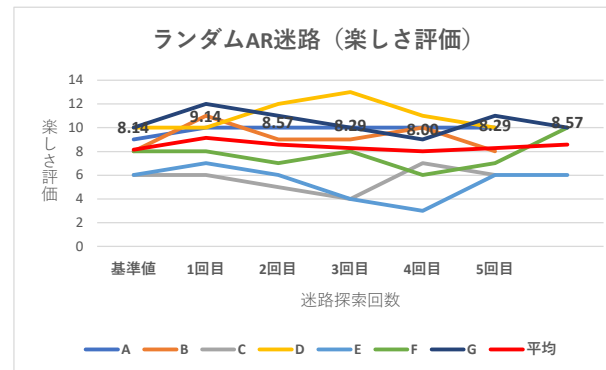


図 9.ランダム AR 迷路の楽しさ評価

きが生じ、楽しさの評価が低くなっていると考えられる。また、被験者からの聞き取り調査の結果では、迷路の道を覚えることがエンターテインメント性の低下につながると感じる声が多く寄せられた。一方で、迷路を迅速にゴールまでたどり着くことに楽しみを見出す参加者も見受けられた。こうした意見から導き出される仮説として、AR 迷路が基準となる壁迷路よりも高いエンターテインメント性を有しているにもかかわらず、そのエンターテインメント性の減少が緩やかなのは、AR 技術を用いた AR 迷路ではユーザーが目の前の壁しか視認できず、全体の構造を理解しにくいという特徴が迷路の道を記憶することを防ぐ影響がある可能性が挙げられる。さらに AR マーカーを読み込んだ際に壁の表示にラグが生じることも影響していると考えられる。

5. 探索時間と楽しさの関係の考察

全章までは、「探索時間」と「楽しさ」を個別に考察していたが、これらの関係についても検討する。そのために表 1 に迷路毎の探索時間の平均で表を示す。この表内の 1 回目から 5 回目の値は、参加者の 1 回目から 5 回目までの平

表 1.迷路毎の探索時間平均

迷路種類	迷路探索時間の平均 (秒)						
	基準値	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	平均
固定壁迷路	27.68	21.64	15.84	12.12	12.97	22.05	16.92
固定 AR 迷路	120.03	129.44	91.93	50.44	32.44	42.35	69.32
ランダム AR 迷路	120.03	122.15	66.18	86.86	110.88	85.14	94.24

表 2.迷路毎の楽しさの平均

迷路種類	楽しさの平均						
	基準値	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	平均
固定壁迷路	7.71	7.71	6.00	4.86	4.00	5.29	5.57
固定 AR 迷路	8.14	8.57	8.00	8.00	6.71	7.00	7.66
ランダム AR 迷路	8.14	9.14	8.57	8.29	8.00	8.29	8.46

均である。そして平均は迷路毎の 1 回目から 5 回目までの平均の値から、平均を導き出したものとなる。同様に、表 2 に迷路ごとの楽しさの値を平均して表に示す。

まず、表 1 のデータを見ると固定壁迷路の探索時間は 1 回目から 5 回目まで減少しており、平均探索時間は 16.92 秒であることが分かる。これに対して、固定 AR 迷路とランダム AR 迷路は、1 回目から 5 回目までの探索時間が若干の変動がありつつも、平均探索時間がそれぞれ 69.32 秒と 94.24 秒となっている。固定 AR 迷路とランダム AR 迷路の平均探索時間が固定壁迷路に比べて長いことが表される。これは AR が迷路の楽しさを向上させることを示している。次に、表 2 では楽しさの平均に注目する。固定壁迷路の楽しさの評価値は 5.57 であり、固定 AR 迷路は 7.66、ランダム AR 迷路は 8.46 となっている。楽しさの評価値は、固定 AR 迷路とランダム AR 迷路が高い評価を得ている。特にランダム AR 迷路では基準値よりも楽しさの評価が向上している。これは、迷路の飽きが迷路を覚えてしまうことによって生じることを示していると考えられる。そのうえで、迷路の道順を繰り返す際に変化を与えることが、迷路の道を覚えることによる楽しさの評価値の低下を抑制できる可能性があると考え、AR 迷路においてはランダムな要素を導入した。

これにより、利用者は毎回異なる迷路の配置となり、新たな挑戦となることでエンターテインメント性が向上するのではないかと考える。毎回迷路の配置が異なることにより、新しい課題が常に用意されている状態となる。これが参加者にとって評価が得られる体験だった可能性がある。

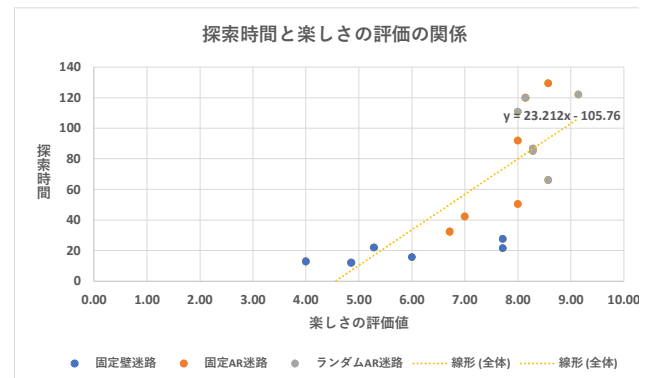


図 10. 迷路パターンごとの探索時間と楽しさの関係

それぞれの迷路パターンごとの探索時間と楽しさの関係を示したグラフを図 10 に示す。横軸は楽しさの評価値であり、縦軸は探索時間である。グラフの凡例は迷路の種類を表している。

図 10 のグラフ全体の回帰直線の式は $y = 0.2168x + 3.2794$ であった。このグラフからプレイ時間が長くなるにつれて楽しさの評価値が高くなる傾向にあることが分かる。

今回の実験では探索時間が長いほど、迷路が難易度の高い要素を含んでいることを示唆していると考えられる。この難しさが参加者にとって新たな挑戦を提供し、結果として楽しさの評価を高める傾向にあるのではないかと考察される。

6. 通れる場合の AR オブジェクトによる AR 迷路の検討と実施

従来の巨大迷路では、道が通れない場合には壁があり、道が通れる場合には壁は存在しない。そのため AR 迷路においても通れない場合は従来の巨大迷路と同様の壁を AR オブジェクトとして表示している。しかし、AR 迷路では通れる場合にも、AR マーカーをモバイル端末のカメラで読み取る必要がある。そのため AR 迷路においては通れる場合にも AR オブジェクトを表示するべきであることがすでに報告されている[3]。

AR 迷路において通れることを示す AR オブジェクトとして、先行研究の結果をもとに AR オブジェクトを作成し 5x5Cuboid の一部として柱 2 本を設置し、その間の地面に AR マーカーを配置して AR オブジェクトの比較実験を行った。79 名によるアンケートの結果、通れる場合のオブジェクトとして「橋」、通れない場合のオブジェクトとして「壊れた橋」の組み合わせが選ばれた。図 11 に選ばれた AR オブジェクトを示す。

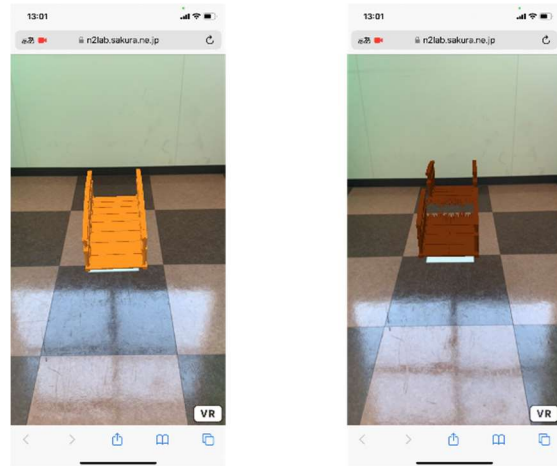
2023 年 10 月 28 日に福山大学学園祭の中でイベントとして AR 迷路を実施した。5x5Cuboid 環境に構築した AR 迷路を図 12 に示す。今回は、「橋」の AR オブジェクトを利用しているため、川を渡る世界観を作るために幅 60cm の養生シートを設置している。

実施した際、40 名に実験にご協力いただいた。迷路のクリア時間の平均は約 2 分 8 秒であった。また、楽しさの評価の平均は 8.15 という値を得ることができた。今回の、壁オブジェクトを用いた AR 迷路の基準値と同程度の迷路探索時間と楽しさの評価を得られることができた。これは迷路のオブジェクトが変化していたとしても AR を用いた迷路であることが面白さの評価を向上させていることを表しているという。

7. まとめ

今回の実験で、巨大迷路の探索時間と楽しさの評価の関係に注目し、固定壁迷路、固定 AR 迷路、ランダム AR 迷路の環境を開発した。7 名の参加者が迷路比較実験に参加した。それぞれの迷路を比較した結果、AR 迷路が巨大迷路の楽しさを向上させていることが明らかとなった。さらに、AR 迷路をランダムに表示させるランダム AR 迷路が、最も楽しさの評価値が高く、探索時間も長かった。上記の結果から、AR 技術が迷路のエンターテインメント性の可能性を大きく向上させることが明らかとなった。さらに楽しさを向上させるために、AR 技術の特徴を生かした、壁オブジェクトを表示しない AR 迷路を検討した。

今後の課題として、AR オブジェクトを表示する際の、ラグの発生など問題を解決する AR 技術の適用方法や迷路の



(a)通れる場合

(b)通れない場合

図 11. 橋の AR オブジェクト



図 12. 福山大学学園祭で実施を行った AR 迷路環境

実験設計は検討すべき要因と言える。また、アンケートやインタビューによるユーザー評価は、対象者選定方法の限界から母集団が偏りがちであることや、調査システムに好意的な回答をしがちであることから、本来の検証とは異なる結果となる可能性が高い。そこで、客観的な視線計測方法を導入することで、ユーザーの実際の行動や興味をリアルタイムに記録することができる、ユーザーの行動を分析し、ガイドへの情報提供やその設計を検討する。

謝辞

本研究は、公益財団法人サタケ技術振興財団の助成を受けて実施した。

参考文献

- [1]長嶋一真,森田純也,竹内勇剛: 知的好奇心に駆動された環境学習の認知モデリング, 人工知能学会研究会資料先進的学習科学と工学研究会,2020, p. 01-
- [2]藤井誠貴,中道上,渡辺恵太,小滝泰弘: みえないめいろ: 壁認知型の巨大迷路システム. インタラクシオン 2017 論文集, 2017 p.831-834.
- [3]田邊基起,山中正敬,西山佳吾,小山惇之介,中道上: 人間行動計測環境「5x5Cuboid」の提案と AR 迷路オブジェクトの検討, 2023,エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2023 論文集,p.321-324.
- [4]水口 充, 片寄 晴弘: エンタテインメントコンピューティング研究における評価問題の解決に向けての施策の実践,インタラクシオン 2019 論文集,pp141-150,2019