

HMD を用いた空間知覚に関する研究 —空間の奥行きを対象とした被験者実験—

○北本 英里子^{*1} 山田 悟史^{*2}
及川 清昭^{*3}

キーワード：空間知覚 奥行き VR HMD

1. はじめに

都市・建築における空間は、人の認知・行動に影響を与えている。空間と認知・行動の関係を明らかにすることができれば、空間の構成要素の操作によって、意図的に認知・行動も操作することができるであろう。しかし、空間と認知・行動の知見を得るためには、空間の構成要素や調査場所を変えるなど、実験者と被験者の両者に負担がかかる。一方で、近年急速に普及している没入感のあるヘッドマウントディスプレイ（以下、HMD）に表示される仮想現実空間（以下、VR とする）は容易に空間の構成要素を変化させることが出来、様々な空間を用意しなければいけない状況では、負担が軽減されるであろう。しかし、VR 空間内の都市・建築において、例えば意思伝達等の場合に、人が正しく空間を知覚しているかという検証や知見は少ない。

そこで本稿では、HMD を利用した VR 空間の作成基準を定義することを目的とし、空間の構成要素の一部である面（壁や間仕切り）を対象として、現実空間、ディスプレイ上、HMD 上での調査の比較を行った。

2. 調査概要

距離を把握するための手がかりになる要素ができるだけ少ない空間で、被験者と対人の間に 900m × 900m の間仕切りを設置し、間仕切りの位置を変化させた（図 1）。これは、1つの空間に2つ以上の機能がある場合（本稿ではオフィスの事務と打ち合わせや待合）を想定し、被験者には①被験者から距離（1.8m, 3.6m, 4.5m, 5.4m）に置いた間仕切りまでの知覚する距離（何 m^{（注1）（注2）} だと思うか）を調査した。また、間仕切りを被験者から離れるように移動させ、②被験者から間仕切りまでの空間の広さが十分であると感じる距離、③間仕切りを隔てて被験者と反対側に居る人が気にならなくなる距離で間仕切りを止めてもらい、その時の被験者が知覚する距離と実際の距離を調査した。さらに、実験①のそれぞれの回答に対して、被験者側の空間の広さに「圧迫感がある一開放感がある」（以下、「空間の広さ」と間仕切りを隔てた被験者と反対側に居る人が「気になる一気にならない」（以下、「人の気配」）について、実験②は「空間の広さ」、実験③は「人の気配」について、それぞれ 5 段階・形容詞

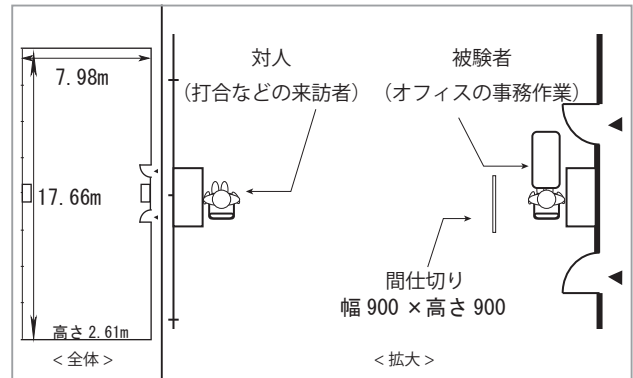


図1 実験空間の平面



図2 実験空間のCGパース



図3 実験の様子

対で空間の評価してもらった。

本稿では被験者は建築学科の2～4年生13人（男7人、女8人）に、現実の空間、ディスプレイ上、HMD上で同じ実験を行った。なお、ディスプレイ上とHMD上には全てCGで作成した空間を表示し、3つの調査は無作為に行った。本稿では3つの実験の結果と比較分析を報告する。

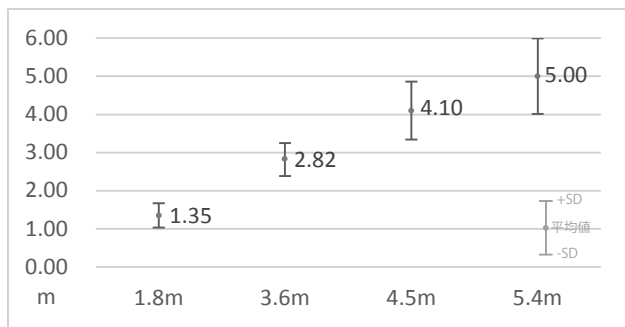


図4 実験①:距離の平均値と標準偏差(現実空間)

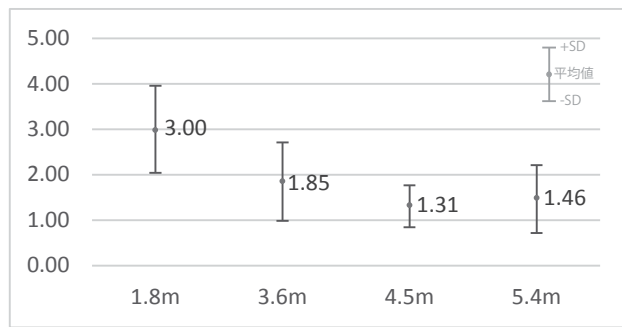


図6 実験①:「人の気配」の平均値と標準偏差(現実空間)

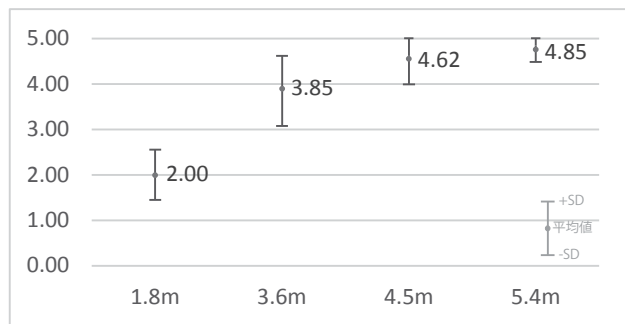


図5 実験①:「空間の広さ」の平均値と標準偏差(現実空間)

3. 実験結果

3つの手法について、それぞれの結果を以下に述べる。

3.1. 現実空間(図4, 図5, 図6, 表1)

会議室中央の柱の横に机と椅子を用意し、一方に被験者、向かい側に待合の人に座って実験を行う。被験者には実験を開始する前に、前を向いた状態から首を振って見回しを行ってもらう。

実験①の結果、距離1.8mの所に間仕切りを置いた時の回答の平均値は1.35mで標準偏差は0.32、距離3.6mの時の平均値は2.82mで標準偏差は0.43、距離4.5mの時の平均値は4.10mで標準偏差は0.76、距離5.4mの時の平均値は5.00mで標準偏差は0.99であった。また、それぞれの評価について「空間の広さ」に関しては、距離1.8mの時の平均値は2.00で標準偏差は0.55、距離3.6mの時の平均値は3.85で標準偏差は0.77、距離4.5mの時の平均値は4.62で標準偏差は0.62、距離5.4mの時の平均値は4.85で標準偏差は0.36であった。「人の気配」に関しては、距離1.8mの時の平均値は3.00で標準偏差は0.96、距離3.6mの時の平均値は1.85で標準偏差は0.86、距離4.5mの時の平均値は1.31で標準偏差は0.46、距離5.4mの時の平均値は1.46で標準偏差は0.75であった。

実験②の結果、「空間の広さ」が十分になったと感じた瞬間に回答した距離の平均値は2.00mで標準偏差は0.67、実際の距離は2.47mで標準偏差は0.91であった。評価については平均値が3.00、標準偏差が0.78であった。

実験③の結果、「人の気配」を感じられなくなったと感じた瞬間に回答した距離の平均値は2.91mで標準偏差は0.88、実際の距離は3.16mで標準偏差は0.97mであった。評価については平均値が2.08、標準偏差が0.83であった。

表1 実験②③:距離と評価平均値と標準偏差(現実空間)

現実空間	開放感/圧迫感			気になる/気にならない		
	距離m	実際m	評価	距離m	実際m	評価
平均	2.00	2.47	3.00	2.91	3.16	2.08
標準偏差	0.67	0.91	0.78	0.88	0.97	0.83

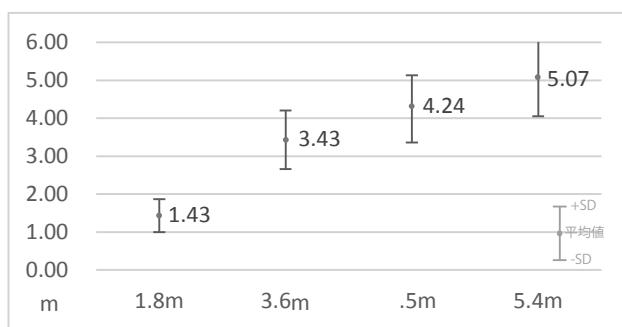


図7 実験①:距離の平均値と標準偏差(ディスプレイ)

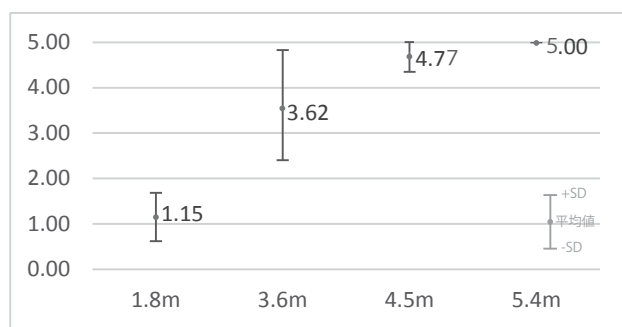


図8 実験①:「空間の広さ」の平均値と標準偏差(ディスプレイ)

3.2. ディスプレイ上(表2, 図7, 図8, 図9)

3.1. と同様の寸法でCGを作成し、ディスプレイ^(注3)上に表示した。なお、動作の条件も3.1. と同様であり、見回しはキーボード上で操作を行った。

実験①の結果、距離1.8mの所に間仕切りを置いた時の回答の平均値は1.43mで標準偏差は0.43、距離3.6mの時の平均値は3.43mで標準偏差は0.78、距離4.5mの時の平均値は4.24mで標準偏差は0.89、距離5.4mの時の平均値は5.07mで標準偏差は1.02であった。また、それぞれの評価について「空間の広さ」に関しては、距離1.8mの時の平均値は1.15で標準偏差は0.53、距離3.6mの時の平均値は3.62で標準偏差は1.21、距離4.5mの時の平均値は4.77で標準偏差は0.42、距離5.4mの時の平均値は5.00で標準偏差は0.00であった。「人の気配」に関しては、距離1.8mの時の平均値は3.69で標準偏差は1.20、距離

3.6mの時の平均値は2.15で標準偏差は1.03、距離4.5mの時の平均値は1.31で標準偏差は0.46、距離5.4mの時の平均値は1.77で標準偏差は1.42であった。

実験②の結果、「空間の広さ」が十分になったと感じた瞬間に回答した距離の平均値は2.22mで標準偏差は0.78、実際の距離は3.86mで標準偏差は1.54であった。評価については平均値が2.77、標準偏差が0.70であった。

実験③の結果、「人の気配」を感じられなくなったと感じた瞬間に回答した距離の平均値は2.94mで標準偏差は1.28、実際の距離は4.46mで標準偏差は2.02mであった。評価については平均値が2.15、標準偏差が0.95であった。

3.3. HMD上(表3, 図10, 図11, 図12)

3.2. と同様の寸法でCGを作成し、HMD^(注4)上に表示した(図3)。なお、動作の条件は3.1. と3.2. と同様で、首を上下左右に振る動作に限定した。

実験①の結果、距離1.8mの所に間仕切りを置いた時の回答の平均値は1.51mで標準偏差は0.32、距離3.6mの時の平均値は3.22mで標準偏差は0.50、距離4.5mの時の平均値は3.89mで標準偏差は0.68、距離5.4mの時の平均値は4.85mで標準偏差は0.98であった。また、それぞれの評価について「空間の広さ」に関しては、距離1.8mの時の平均値は1.92で標準偏差は0.83、距離3.6mの時の平均値は3.23で標準偏差は1.08、距離4.5mの時の平均値は4.54で標準偏差は1.18、距離5.4mの時の平均値は4.92で標準偏差は1.23であった。

実験②の結果、「空間の広さ」が十分になったと感じた瞬間に回答した距離の平均値は1.89mで標準偏差は0.59、実際の距離は4.75mで標準偏差は1.46であった。評価については平均値が3.08、標準偏差が0.73であった。

実験③の結果、「人の気配」を感じられなくなったと感じた瞬間に回答した距離の平均値は3.11mで標準偏差は0.79、実際の距離は4.83mで標準偏差は1.36であった。評価については平均値が2.00、標準偏差が0.55であった。

4. 現実空間との比較

現実空間に対して、ディスプレイ上やHMD上での距離の知覚の違いを実験①の間仕切りの距離(1.8m, 3.6m, 4.5m, 5.4m)に着目して考察する。

4.1. ディスプレイ(図13, 図14, 図15)

実験①において、現実空間で回答した距離とディスプレイ上で回答した差の分布は図13のようになった。それぞれの差は、距離1.8mの時の平均値は-0.08mで標準偏差は0.20、距離3.6mの時の平均値は-0.62mで標準偏差は0.80、距離4.5mの時の平均値は-0.14mで標準偏差

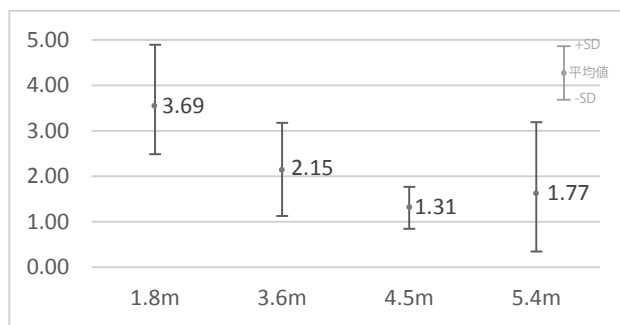


図9 実験①: 「人の気配」の平均値と標準偏差 (ディスプレイ)

表2 実験②③: 距離と評価平均値と標準偏差 (ディスプレイ)

ディ ス プ レイ	開放感/圧迫感			気になる/気にならない		
	距離 m	実際 m	評価	距離 m	実際 m	評価
平均	2.22	3.86	2.77	2.94	4.46	2.15
標準偏差	0.78	1.54	0.70	1.28	2.02	0.95

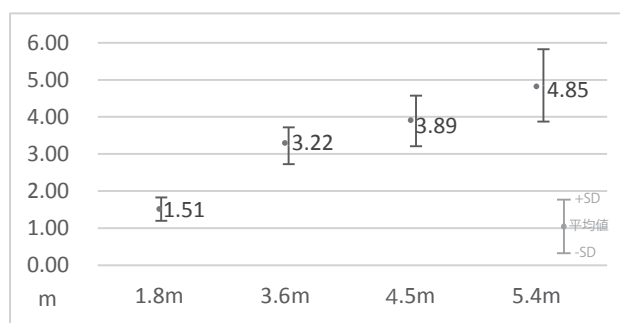


図10 実験①: 距離の平均値と標準偏差 (HMD)

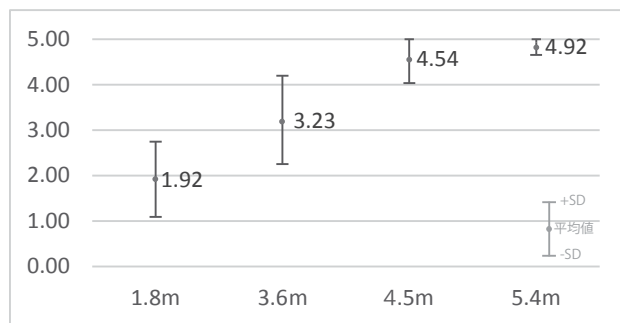


図11 実験①: 「空間の広さ」の平均値と標準偏差 (HMD)

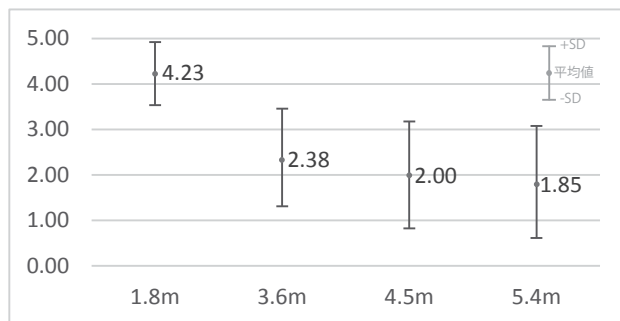


図12 実験①: 「人の気配」の平均値と標準偏差 (HMD)

表3 実験②③: 距離と評価平均値と標準偏差 (HMD)

HMD	開放感/圧迫感			気になる/気にならない		
	距離 m	実際 m	評価	距離 m	実際 m	評価
平均	1.89	4.75	3.08	3.11	4.83	2.00
標準偏差	0.59	1.46	0.73	0.79	1.36	0.55

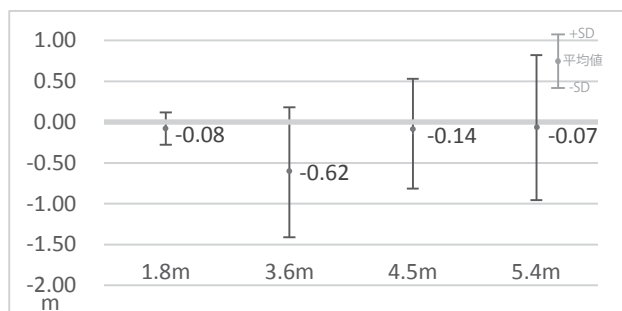


図 1-3 距離の差の平均値と標準偏差 (ディスプレイ)

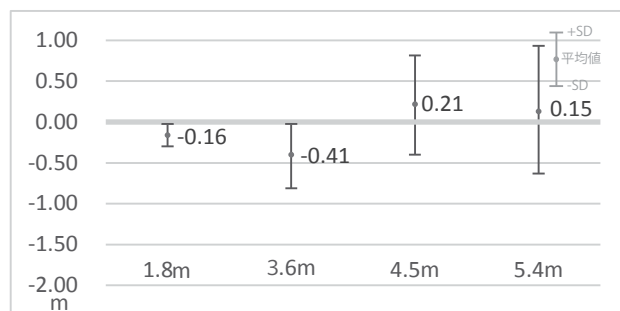


図 1-6 距離の差の平均値と標準偏差 (HMD)

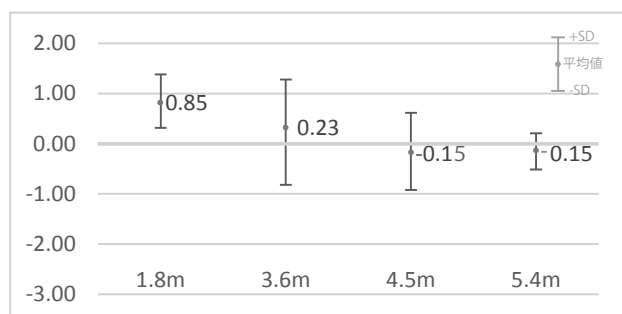


図 1-4 「空間の広さ」の差の平均値と標準偏差 (ディスプレイ)

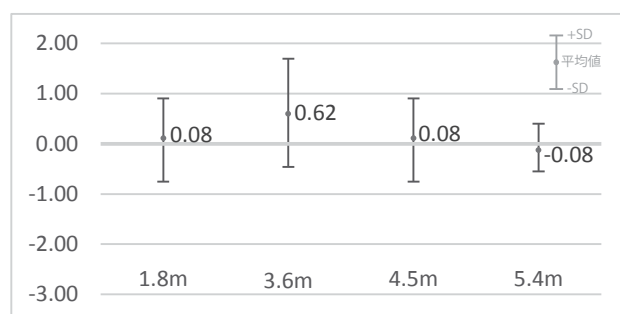


図 1-7 「空間の広さ」の差の平均値と標準偏差 (HMD)

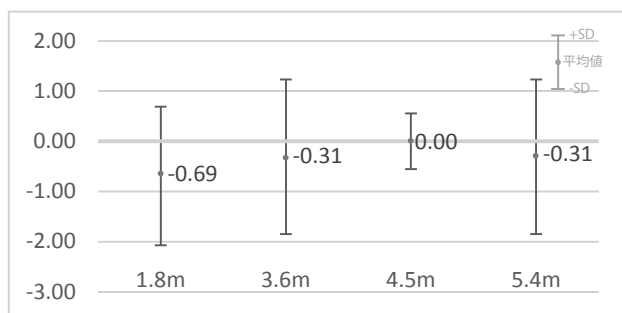


図 1-5 「人の気配」の差の平均値と標準偏差 (ディスプレイ)

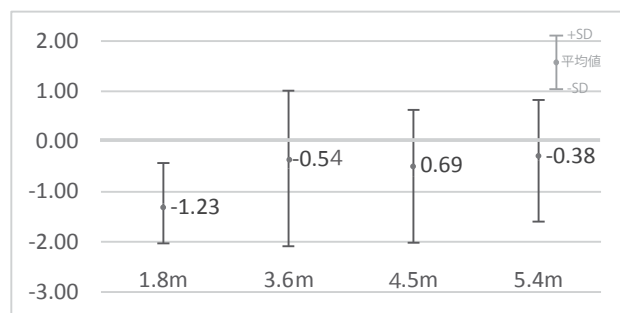


図 1-8 「人の気配」の差の平均値と標準偏差 (HMD)

は 0.67, 距離 5.4m の時の平均値は -0.77m で標準偏差は 0.89 であった。また、「空間の広さ」の評価は図 1-4, 「人の気配」の評価は図 1-5 のようになった。

4.2. HMD (図 1-6, 図 1-7, 図 1-8)

実験①において, 現実空間で回答した距離とディスプレイ上で回答した差の分布は図 1-2 のようになった。それぞれの差は, 距離 1.8m の時の平均値は -0.16m で標準偏差は 0.14, 距離 3.6m の時の平均値は -0.41m で標準偏差は 0.40, 距離 4.5m の時の平均値は 0.21m で標準偏差は 0.61, 距離 5.4m の時の平均値は 0.15m で標準偏差は 0.78 であった。また, 実験②では, 平均値は 0.12m で標準偏差は 0.69, 実験③では, 平均値は -0.20m で標準偏差値は 0.76 であった。また, 「空間の広さ」の評価は図 1-7, 「人の気配」の評価は図 1-8 のようになった。

5. まとめ

本稿では, 現実空間, ディスプレイ上, HMD 上での間仕切りに対する距離の知覚の知見を得た。今後は空間の構成要素を変化させ, 没入感型 HMD 上での空間の知覚を明らかにし, VR 空間の設計手法の指標を提案する。

[注釈]

- 1) 被験者には単位はメートル, 小数第二位まで答えてもらった。
- 2) 被験者には体の左側からの距離を答えてもらっている。実際の距離を測量する上で, 壁からの距離を測っているため, 結果は回答の数値に壁から被験者の幅 (0.40m) を加算している。
- 3) CPU Intel Core i7-6700, グラフィックカード NVIDIA GeForce GTX 980, ディスプレイ 27 インチ (解像度 2560×1440)
- 4) 注釈 3 と同じ PC と, 没入感型の HMD (解像度 2160×1200 , 片目 1080×1200) を利用した。

[参考文献]

- 1) 安益 圭祐, 永松 雄大, 山口 秀樹 他: 縮尺の異なる空間における明るさ感の違いに関する検討, 学術講演梗概集 2014 (環境工学 I), 405-406, 2014-09-12
- 2) 邊 敬花, 宗方 淳, 吉澤 望 他: 画像実験による圧迫感と開放感の評価指標の検討 - 都市空間における圧迫感と開放感に関する研究 その 2 -, 日本建築学会環境系論文集 76(660), 107-113, 2011
- 3) 馬淵 大, 長澤 夏子, 渡辺 仁史 他: モーションキャプチャシステムと HMD を組み合わせた没入型 VR システムを用いた生理学的高所ストレスの推定精度の検証, 日本建築学会技術報告集 19(43), 1073-1078, 2013

* 1 立命館大学大学院 理工学研究科 博士後期課程 環境都市専攻

* 2 早稲田大学 人間科学学術院 人間環境学科 助教・博士 (工学)

* 3 立命館大学 理工学部 建築都市デザイン学科 教授・工学博士