



把持可能範囲において人間がバーチャルリアリティ空間で 知覚する距離の変化の研究

A study on a change in distance perception at the range of human hand in VR space

鳥海青真¹⁾, 久保友八²⁾, 小方博之³⁾, 伝保昭彦⁴⁾, 亀谷恭子⁵⁾, 安田晶子⁶⁾

Seima TORIUMI, Yuya KUBO, Hiroyuki OGATA, Akihiko DEMPO, Kyoko KAMEYA, and Shoko YASUDA

- 1) 成蹊大学 理工学研究科 (〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1, dm236311@cc.seikei.ac.jp)
- 2) 成蹊大学 理工学部 (〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1)
- 3) 成蹊大学 理工学部 (〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1, ogata@st.seikei.ac.jp)
- 4) 成蹊大学 理工学部 (〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1, denpoah@stf.teu.ac.jp)
- 5) 成蹊大学 理工学部 (〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1, kkameya@st.seikei.ac.jp)
- 6) 一橋大学 森有礼高等教育国際流動化機構 (〒186-8601 東京都国立市中 2-1, s.yasuda@r.hit-u.ac.jp)

概要 : VR 空間では、自己から対象物までの距離が提示された距離より近くに感じられる「距離感の圧縮」現象が発生することがある。これは、HMD により視野が制限されることが原因の一つであると考えられている。これまで、自己から中・遠距離での「距離感の圧縮」は検討されてきたが、近距離範囲においては十分に検討されていない。本研究では対象物を把持可能な近距離において、HMD 内での視野制限が「距離感の圧縮」に与える影響を検討した。

キーワード : 距離知覚, 視覚, 位置覚, HMD

1. はじめに

VR (Virtual Reality) 空間において、自己から対象物までの距離が提示された距離より近くに感じられる「距離感の圧縮」現象が発生することがある[1]。先行研究[1][2]では、VR 空間内においてユーザから一定の距離にオブジェクトを配置し、そこまでの距離を目視のみで推定させた。推定された距離は、目が隠された状態で実際に歩行(ブラインドウォーキング法)したり、距離の単位を用いて口頭で報告(言語報告法)したりすることで測定された。これらの先行研究では、現実空間に存在する物体に対しては実際の距離を比較的正確に推定することができるが、VR 空間では実際の距離の 96%~42%に圧縮されることが示されている [3]。

このような「距離感の圧縮」が発生する原因として、HMD (Head Mounted Display) を装着にすることによる影響が挙げられている。Willemssen ら[4]の研究では HMD と同じ視野、重量、慣性モーメント、装着感を持つ疑似 HMD を使用し、現実空間で距離推定課題を行った。その結果、通常の HMD で VR 空間内にオブジェクトを提示した場合ほどではないものの、疑似 HMD でも距離感の圧縮が発生した。このことから、HMD を装着すること自体が距離感

の圧縮の原因の一つであると考えられる。これは、HMD の重量によって頭部の姿勢が影響を受けるためである可能性がある。また、一般的に距離知覚には視野内の様々なオブジェクトの位置関係などが影響を与えるため、HMD を使用することで視野の一部が制限されることも影響している可能性がある。

また、この研究を含めた先行研究では、ユーザが推定した距離の測定方法としてブラインドウォーキング法が頻繁に使用されている。この方法は実際に歩行する必要があるため、ユーザが推定する対象物までの距離は 2m 以上であることが多い。Cutting と Vishton[5]はユーザから 2m 以内の個人空間、2~30m の作業空間、30m 以上の遠方空間の三つの距離空間において、距離知覚は同一ではないとしている。そのため、2m 以内の個人空間においては、距離感の圧縮の発生の仕方が先行研究とは異なる可能性がある。

そこで、本研究では、VR 空間でユーザが対象物を掴めるほどの近距離範囲においても距離感の圧縮が発生するのかを検討した。さらに、距離感の圧縮の原因の一つと考えられている HMD 使用時における、視野制限および重量の影響についても検討した。

2. 実験 (1)

実験 (1) では近距離範囲においても距離感の圧縮が発生するのかを検討した。また、距離感の圧縮に関係していると考えられている HMD の視野と重量についても条件を変えて検討した。

2.1 実験参加者

実験参加者は 10 名の大学生・大学院生(男性 7 名、女性 3 名)であった。

2.2 実験環境

本実験では、現実空間と VR 空間の両方で距離推定課題を行った。図 1 に実験環境を示した。現実空間で課題を行う際、ユーザは椅子に座り、黒い布が掛けられた長机(縦 2.2m×横 0.6m)に正対した。距離推定の手がかりにならないよう、前方と左右の三方向には白い布を掛けたパーテーションを配置した。また、ユーザの利き手の甲には VR 空間でユーザの手を表示するためのトラッカを装着した。課題ではユーザが距離推定する位置を示すための円形の枠(内径 80mm、外径 100mm)と距離推定した位置に置く円柱形のマーカ(直径 80mm、高さ 50mm)を使用した。この環境を VR 空間内でも再現した。VR 空間の映像を提示する HMD には VIVE Cosmos Elite を使用した。手の甲やマーカに取り付けるトラッカは VIVE トラッカ (3.0)、VR 空間の構築は Unity2020.3.17f1 を使用した。

2.3 実験手続き

現実空間における距離推定課題では、初めに机の上に赤、青、黄の三つの円形の枠を配置し、実験参加者に提示した。三つの枠の内、一つは距離推定を行うターゲットであり、机の手前から 200mm、400mm、600mm の三つの距離のいずれかに配置された。ターゲット以外の二つの枠は互いに重ならないランダムな距離に置いた。実験参加者には三つの枠の位置を記憶するように指示した。実験参加者は枠の位置を十分に記憶してから机が見えなくなるように視線を横に向けた。その間に実験者は三つの円形の枠を取り去

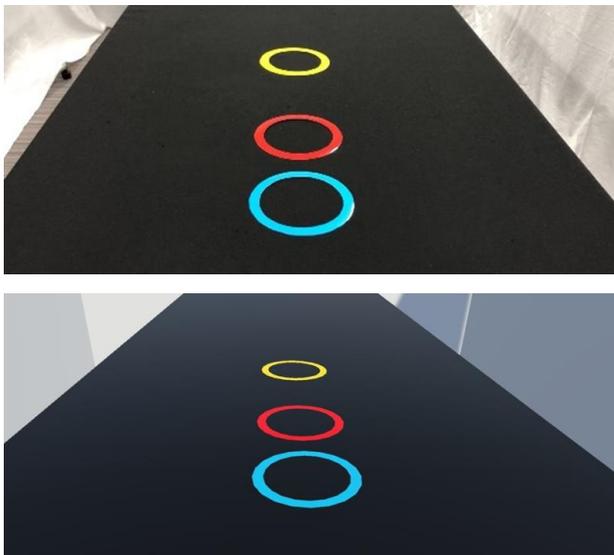


図 1: 実験環境 現実空間 (上)、VR 空間 (下)

った。その後、実験者は実験参加者に対し、再び机の方を向くように指示した。そして実験者はターゲットの枠の色を実験参加者に伝え、その色の枠があったと思う位置にトラッカ付きのマーカを置くように指示した。実験参加者がマーカを机の上に置いた後、実験者は机の手前からマーカまでの距離を記録し、1 試行を終了した。

VR 空間における距離推定課題では実験参加者に HMD を装着させ、現実空間と同様の手続きで課題を行った。

全ての試行が終了した後、実験参加者はシミュレータ酔いに関するアンケートである SSQ[6]に回答した。

2.4 実験条件

実験は HMD の機器の特性を要因とし、現実空間、視野制限のない VR 空間、視野を制限した VR 空間、視野制限はないが HMD の重量を追加した VR 空間の四つの条件で行った。HMD 自体の視野角は水平 88 度、垂直 92 度、重量は 665g であった。視野制限は制限範囲を VR 空間内で黒く表示し、視野角が水平 32.0 度、垂直 33.5 度となるように設定した。重量追加は 300g の重りを HMD の本体上部に取り付け、合計重量は 965g であった。

四つの条件それぞれにおいて、三つの距離について 3 回ずつ推定を行わせたため、合計で 36 試行であった。

3. 結果 (1)

SSQ の結果、シミュレータ酔いをした実験参加者はいなかった。

図 2 に実験 (1) の各条件における推定距離の平均を示す。縦軸は推定した距離、横軸は実際の距離である。自己から対象物までの距離が 200mm と 400mm のときは、い

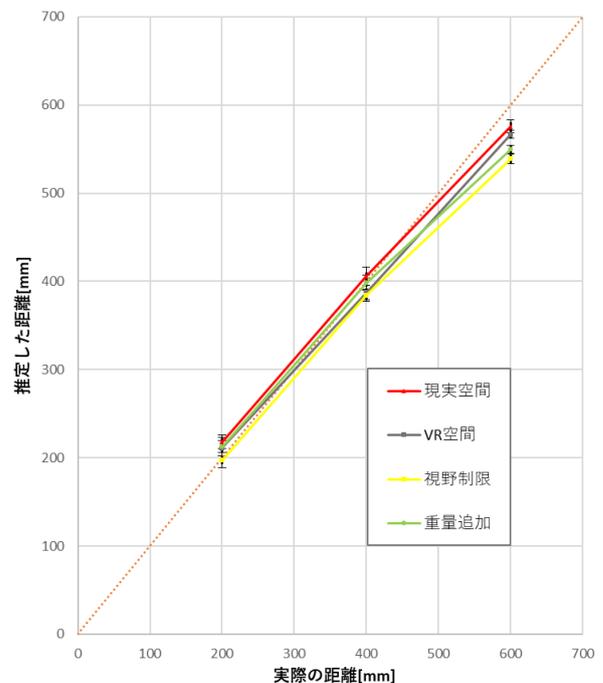


図 2: 実験 (1) 推定距離
エラーバーは標準誤差を示す。

れの条件においても推定距離と実際の距離がほとんど同じであったため、明らかな距離感の圧縮は発生しなかったと考えられる。一方で 600mm のときは四つの条件全てで距離感の圧縮が発生し、特に現実空間条件よりも視野制限条件と重量追加条件において圧縮の度合いが大きかった。また、全ての距離において最も推定距離が小さかったのは視野制限条件であった。HMD による視野の制限が距離感の圧縮の原因として大きく関与していると考え、条件を視野の制限に絞って実験 (2) を行った。

4. 実験 (2)

実験 (1) では視野の制限が距離感の圧縮に与える影響が大きい可能性が示唆された。そこで実験 (2) では視野の制限度合いによって、距離感の圧縮がどのように変化するかを検討した。また、周囲に距離感の視覚的手がかりが全くない環境下でも実験を行い、視野制限と距離感の手がかりの関係についても検討した。

4.1 実験参加者

実験参加者は 11 名の大学生・大学院生(男性 8 名、女性 3 名)であった。

4.2 実験環境・実験手続き

実験環境・装置および実験手続きは実験 (1) と同様であった。

4.3 実験条件・手続き

実験 (2) では視野の制限と距離知覚手がかりの有無の二つの要因について検討した。視野の制限については垂直視野角を 92 度そのままに、水平視野角をそれぞれ 32.0 度、9.7 度、1.8 度まで狭めた条件、および水平視野角は 88 度で垂直視野角を 33.5 度まで狭めた条件の計四つの条件を設定した。

また、距離知覚手がかりの有無については、実験 (1) と同様の VR 空間と、図 3 に示す周囲に距離感の手がかりが全くない VR 空間の二つの条件を設定した。

視野の制限 (実験参加者内四条件)、距離知覚手がかり (実験参加者内二条件) のそれぞれにおいて、三つの距離について 3 回ずつ推定を行わせたため、合計で 72 試行であった。

全ての試行が終了した後、参加者はシミュレータ酔いに関するアンケートである SSQ に回答した。

5. 結果 (2)

SSQ の結果、シミュレータ酔いをした実験参加者はいな



図 3: 実験環境 距離感の手がかりがない VR 空間

かった。

図 4 に実験 (2) の VR 空間における各条件での推定距離の平均、図 5 に距離感の視覚の手がかりがない VR 空間における各条件での推定距離の平均を示す。縦軸は推定した距離、横軸は実際の距離である。

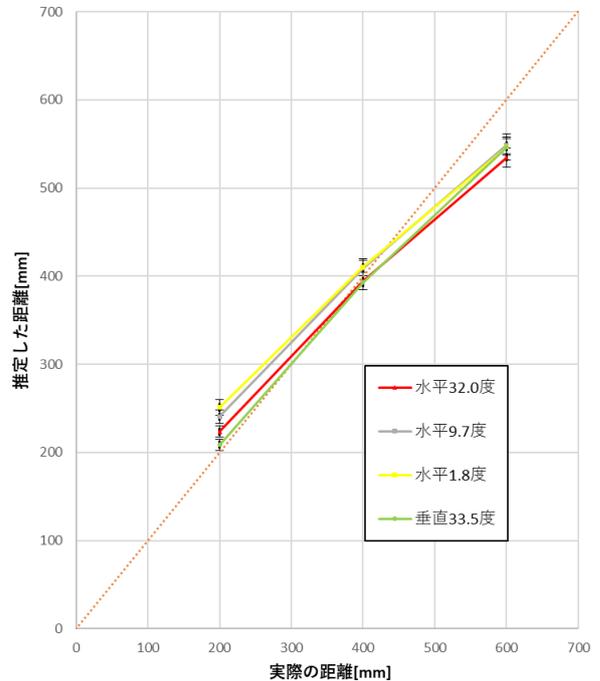


図 4: 実験 (2) 推定距離 手がかり有り
エラーバーは標準誤差を示す。

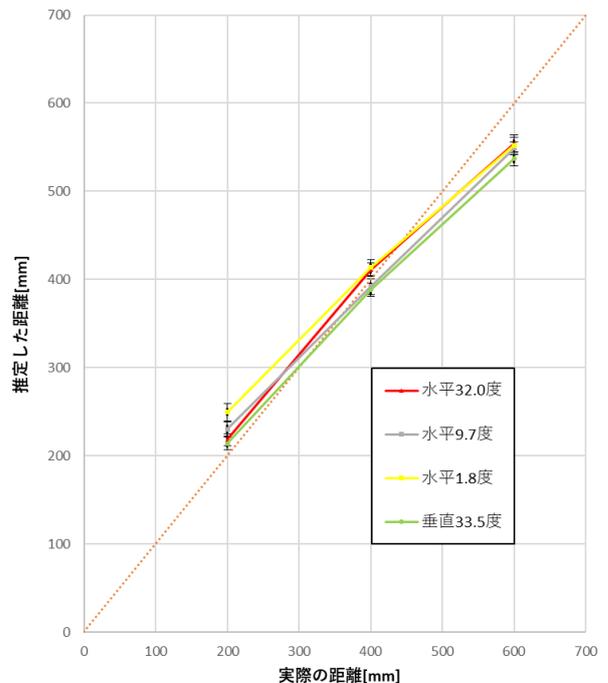


図 5: 実験 (2) 推定距離 手がかり無し
エラーバーは標準誤差を示す。

視野の制限、距離知覚手がかり、および枠までの距離の実験参加者内三要因分散分析を行った。その結果、視野角の主効果は有意であった(視野角、 $F(3, 30) = 3.646, p = .04, \eta_p^2 = .267$)。視野の制限要因の主効果について Holm 法による多重比較を行ったところ、各条件間の差は有意ではなかった (*n.s.*)。

自己から対象物までの距離が 200mm のときはいずれの視野制限条件、距離知覚手がかり条件においても実際の距離より過大に距離が推定されていた。一方で、600mm のときはいずれの条件においても 9.0%前後距離感が圧縮されていた。

また、距離知覚手がかりの有無による距離推定の違いは見られなかった。

6. 考察

本研究では HMD の重量、視野の制限および距離知覚手がかりの有無が VR 空間内における距離感の圧縮に与える影響について検討した。その結果、自己から対象物までの距離が 600mm のときは距離感が圧縮され、200mm のときは伸長される可能性が示唆された。また、距離知覚手がかりの有無による距離推定の違いは見られなかった。

本研究では、条件によっては距離感の圧縮と伸長のいずれも見られた。このような距離知覚の変化については、人間の知覚特性と HMD を使用した際のオブジェクト提示の特性の両方が影響を与えていると考えられる。人間の知覚特性の影響としては、自己から対象物までの距離が 200mm のときは距離感の伸長、600mm では圧縮が発生しており、400mm に近づく方向に距離推定が行われている。このことから、近距離空間内では正常作業域に近づくように距離推定が行われる可能性が示唆された。正常作業域とは、肘を曲げた状態で楽に前腕を動かせる範囲のことである。また、HMD によるオブジェクト提示の特性の影響としては、400mm 付近を境に VR 空間の画質が変化し、実験参加者に距離を過小評価させた可能性が考えられる。

本実験では環境の距離知覚手がかり要因の主効果は有意ではなかったが、これは実験参加者が距離を推定する際に、遠くのもの大きさや位置関係、首や肘の動きや角度などの体性感覚を手がかりにしており、今回排除した手がかり以外に距離知覚の手がかりを使用することができたためである可能性がある。

実験 (1) の視野制限では 600 mm のとき 10.2% の圧縮、実

験 (2) ではいずれの条件でも 600 mm のとき 9% 前後の圧縮が発生した。このことから、視野角が距離感の圧縮に与える影響は限定的であることが示唆された。

7. 結論

VR 空間において、自己から対象物までの距離が 600mm のときは視野の制限や距離知覚手がかりの有無にかかわらず、距離感が圧縮されることが示唆された。

また、200mm のときは距離感が伸長される可能性が示唆された。

距離感の視覚的手がかりになる周囲の環境については、視野制限条件においては VR 空間内の距離知覚に影響を与えているとは言えないことが示された。

参考文献

- [1] Bob G. Witmer, Wallace J. Sadowski, Jr.: Nonvisually Guided Locomotion to a Previously Viewed Target in Real and Virtual Environments, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 40(3), 1998
- [2] Joshua M. Knapp, Jack M. Loomis: Limited Field of View of Head-Mounted Displays Is Not the Cause of Distance Underestimation in Virtual Environments, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 13(5), pp.572–577, 2004
- [3] Ilja T. Feldstein, Felix M. Kölsch, Robert Konrad: Egocentric Distance Perception: A Comparative Study Investigating Differences Between Real and Virtual Environments, *Perception*, 49(9), pp.940-967, 2020
- [4] Peter Willemsen, Mark B. Colton, Sarah H. Creem-Regehr, William B. Thompson: The Effects of Head-Mounted Display Mechanical Properties and Field-of-View on Distance Judgments in Virtual Environments, *ACM Transactions on Applied Perception*, 6(2), pp.1-14, 2009
- [5] James E. Cutting, Peter M. Vishton: Perceiving Layout and Knowing Distances: The Integration, Relative Potency, and Contextual Use of Different Information about Depth, *Perception of Space and Motion*, pp.69-117, 1995
- [6] Robert S. Kennedy, Norman E. Lane, Kevin S. Berbaum, Michael G. Lilienthal: Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness, *The international Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 1993