

バーチャルリアリティにおける視点自由度と知覚の正確さの関連の検討

研究代表者 日根 恭子 豊橋技術科学大学情報・知能工学系助教
共同研究者 對馬 淑亮 情報通信研究機構脳情報通信融合研究センター主任研究員

1 研究の目的

近年、VR 技術が一般社会へ浸透し、内閣府による「第 5 期科学技術基本計画」では、わが国の目標としてバーチャルリアリティ (VR) の実用化の促進が示されており、様々な場面での応用への期待も高まっている。そのため、VR の実用化とその心理的効果を明らかにすることは、われわれの生活を大きく変える可能性を示すことであり、重要であると考えられる。VR は自由な視点で映像を視聴することができ、高い臨場感を生む (Slater & Wilbur, 1997)。そのため、これまでの VR 技術に関する研究調査は、VR 空間をよりリアルに近づける方法や (例: 高解像度、高フレームレート)、VR 空間により多くの情報を提示する方法 (例: 背景の細かな作りこみ) など、先進的な情報通信技術を開発することにより、より高い臨場感の実現を試みるものが多数を占めている。しかし、正確な知覚に対する VR の促進効果については、科学的根拠はいまだ乏しい。

一方、VR を視聴する人間に着目すると、人間の情報処理資源は有限であり、よりリアルな VR 空間が、必ずしも人間にとって最適な知覚環境を提供しているとは限らない。実際、VR 映像は教育現場などでも使用されつつあるが、視聴者の認知負荷が高まり (Hine & Tasaki, 2019)、知覚の正確さがむしろ低下する可能性が指摘されている (Makransky et.al.,2019)。さらに、研究代表者らが行った実験より、VR 映像よりも従来メディアによる映像の方が、知覚の正確さが向上する場面さえあることが分かってきた (Tsushima, Hine, & Yura, 2022)。高度な情報通信社会を支える VR が、エンターテインメントをはじめ、教育、産業など、情報通信学が重要視される様々な分野で、人間にとって最適な環境で利活用されるためには、VR の最大の特徴である視点自由度が、知覚の正確さにどのような影響を与えるかを科学的に明らかにすることが必要不可欠であるといえる。そこで、本研究の目的は、VR の特徴である視点自由度が、知覚の正確さにどのような影響を及ぼすか科学的に解明することとした。本研究目標を達成するため、VR の視点自由度を変更することのできるプログラムの作成、および心理物理実験の実施し、実験データを解析した。

2 研究内容

2-1 視点自由度を変更することのできる実験プログラムの作成

実験プログラム開発には Unity (Unity Technologies 製) を使用し、VR プラットフォームには SteamVR (Valve Corporation 製) を採用した。VR 映像内での視点の自由度は、ヘッドトラッキングデータの position (x, y, z) と rotation (pitch, yaw, roll) でそれぞれ指定できるようにした。これらのパラメータは外部ファイルで設定し、実空間での視点の自由度を基準値の 1.00 とし、正負の値で指定可能とした。このプログラムでは、視点の自由度は頭の動きと映像の動きの対応の度合いを示し、1.00 より小さい場合は実空間よりもゆっくり (不自由に) VR 空間内を移動し、1.00 より大きい場合は実空間よりも速く (自由に) 移動できることを意味する。負の値は、移動方向が逆転することを示す。また、映像視聴中の実際のヘッドトラッキングデータは外部に記録するように設定した。図 1 に作成した映像提示プログラムのスクリーンショットを、図 2 に出力ファイルの例を示す。



図1.映像提示プログラムのスクリーンショット

```

1 | timestamp,x,y,z,rotx,roty,rotz,rotw↓
2 | 2022/04/19 14:07:22.317,-0.05707908,1.213436,0.1274342,0.0799645,0.007736632,0.005128548,-0.9967545↓
3 | 2022/04/19 14:07:22.322,-0.05708468,1.213426,0.1274187,0.07992213,0.007606443,0.005240013,-0.9967583↓
4 | 2022/04/19 14:07:22.326,-0.05703163,1.213309,0.1272356,0.07985818,0.007353127,0.004780954,-0.9967676↓
5 | 2022/04/19 14:07:22.341,-0.05700564,1.213274,0.1272618,0.08002303,0.007240708,0.004782763,-0.9967552↓
6 | 2022/04/19 14:07:22.351,-0.05711567,1.21317,0.1270846,0.08000251,0.007154264,0.004700902,-0.9967579↓
7 | 2022/04/19 14:07:22.363,-0.0571059,1.213151,0.1270058,0.08021539,0.007132409,0.004863766,-0.9967402↓
8 | 2022/04/19 14:07:22.374,-0.05708921,1.2132,0.1269482,0.08020203,0.007162513,0.004900435,-0.9967409↓
9 | 2022/04/19 14:07:22.385,-0.05719674,1.213059,0.126772,0.08049706,0.00727193,0.004889092,-0.9967163↓
10 | 2022/04/19 14:07:22.396,-0.05719042,1.213078,0.1267832,0.08073793,0.007265452,0.004766355,-0.9966975↓
11 | 2022/04/19 14:07:22.407,-0.05718184,1.213107,0.1267513,0.08094706,0.007284744,0.004998666,-0.9966792↓

```

図2.ヘッドトラッキングデータの出力ファイルの例

2-2 視点自由度が大きき知覚の正確さに影響を与えるか検証するための心理物理実験

2-1 で作成した実験プログラムを用い、視点自由度が大きき知覚に影響を与えるか検証するための心理物理実験を実施した。

(1) 実験参加者

30人が実験に参加した（平均年齢 23.0, SD=0.8, 女性 2名）。

(2) 実験方法

実験参加者はヘッドマウンテッドディスプレイ（HMD: VIVE Cosmos Elite, HTC 製）を装着し、VR中に提示される対象が大きいか小さいかの判断が求められた。視点自由度条件として、一般的なVRと同様に実空間と同じような体験が再現される自由度を1.00とし、0.25、0.50、1.00、2.00、4.00の5条件が用意された。実際に提示された物体の大きさの種類は5種類であった。自由度条件はブロックごとに実施され、自由度条件ごとに5種類の大きさの対象が8回ずつ提示された。ブロック間で実験参加者はHMDを取り、休憩を取ることができた。実験時間は全部で1時間程度であった。実験実施の様子を図3に示す。



図3. 実験実施の様子。首を振ってVR空間内を観察する。

(3) 結果

(心理物理曲線解析)

各実験参加者について、異なる視点自由度の条件下で心理物理関数を求め、主観的等価点 (Point of Subjective Equality: PSE) と丁度可知差異 (Just Noticeable Difference: JND) を算出した (Wetherill & Levitt, 1965)。PSE は、実験参加者が大きすぎず小さすぎず中間の大きさと感じる物理量を示し、PSE の値が大きいほど、同じ刺激が提示されても実験参加者がその対象をより小さく知覚していることを意味する。JND は、実験参加者が大きさの違いを識別できる最小の単位であり、JND の値が小さいほど、大きさの違いをより正確に識別できることを示す。まず、各実験参加者について刺激サイズを横軸、“大きい”判断率を縦軸にプロットし、プロットしたデータについて、心理物理モデルをフィッティングした。通常プロットしたデータは S 字カーブになることが知られている。本研究のフィッティングには Matlab (MathWorks 社) の `fminsearch` 関数を用いた。次に、フィッティングされた曲線から実験参加者の“大きい”判断が 50% の確率で生じる点を見つけ、これを PSE とした(図 4)。PSE は、その人にとって大きくも小さくもない大きさを表す。同様に、フィッティングされた曲線から、実験参加者の“大きい”判断が 25% と 75% の確率で生じる点をそれぞれ見つけ、これらの 2 点の差を 2 で割った値を JND とした(図 5)。

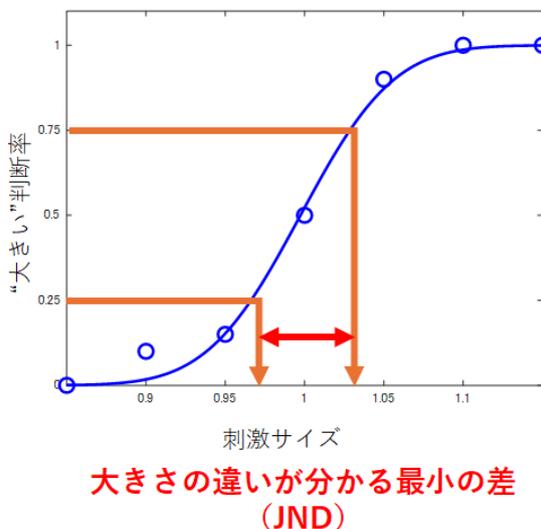


図 4. 心理物理曲線と PSE の関係

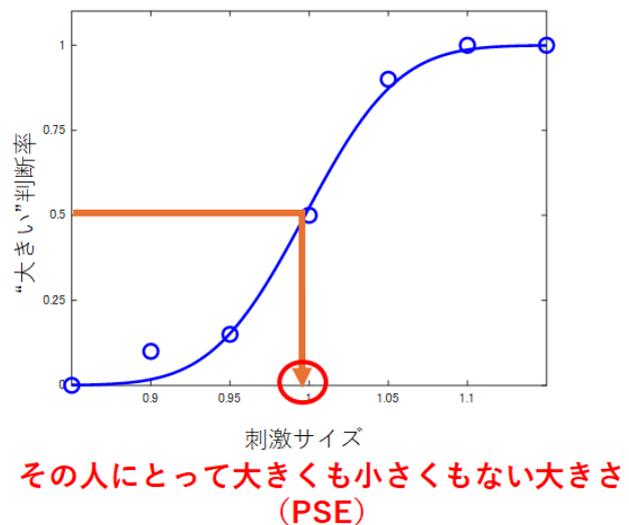


図 5. 心理物理曲線と JND の関係

解析では、各実験参加者の PSE と JND を Z 変換した。図 6 に視点自由度ごとの平均 Z 変換 PSE を、図 7 に平均 Z 変換 JND を示す。

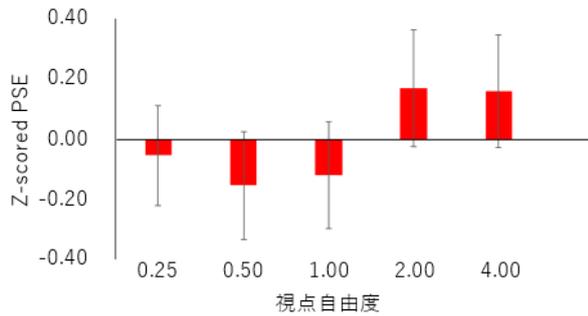


図 6. 視点自由度条件ごとの平均 Z 変換 PSE
(エラーバーは標準誤差を示す)

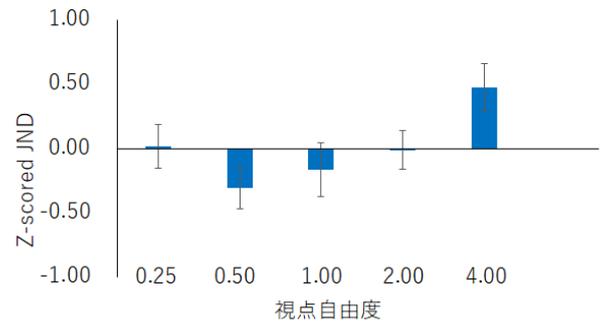


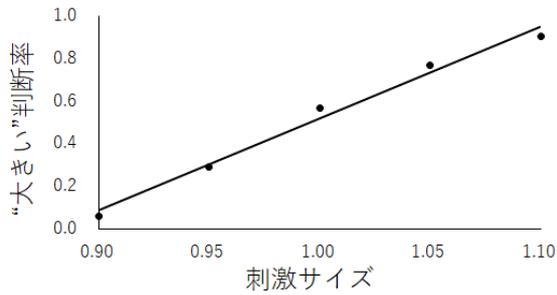
図 7. 視点自由度条件ごとの平均 Z 変換 JND
(エラーバーは標準誤差を示す)

Z 変換 PSE について、視点自由度を要因とする 1 要因 5 水準分散分析を実施した結果、主効果は有意ではなかった ($F(4,116)=0.56, p=.56$)。同様に Z 変換 JND について、視点自由度を要因とする 1 要因 5 水準分散分析を実施した結果、主効果は有意傾向であった ($F(4,116)=2.13, p=.08$)。

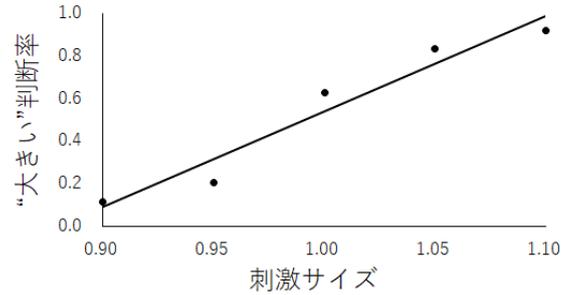
(線形混合モデル解析)

“大きい”判断を従属変数、視点自由度と刺激サイズの主効果、およびそれらの交互作用を独立変数とした線形混合モデルを作成し、解析した。その結果、視点自由度の主効果は有意でなかったが ($t(5952.89)=1.92, p=.06$)、刺激のサイズの主効果が有意であり ($t(5952.89)=42.50, p<.001$)、刺激のサイズが大きくなるほど、“大きい”判断が増加することが分かった。加えて交互作用が有意であった ($t(5952.89)=-2.12, p=0.034$)。これは、“大きい”判断に対する刺激サイズの効果が、視点自由度によって異なることを意味する。図 8 に、視点自由度ごとの視点自由度ごとの“大きい”判断率の平均値を示す。

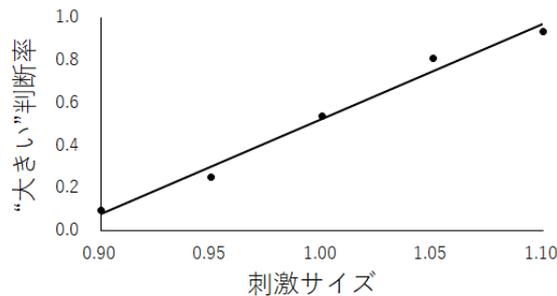
(a)自由度0.25



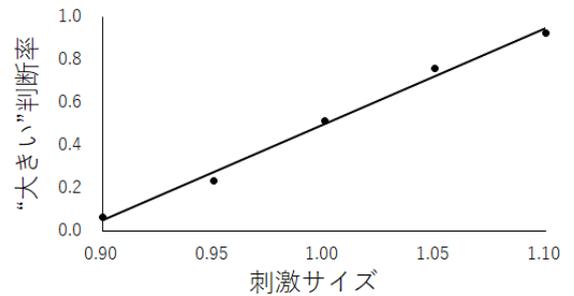
(b)自由度0.50



(c)自由度1.00



(d)自由度2.00



(e)自由度4.00

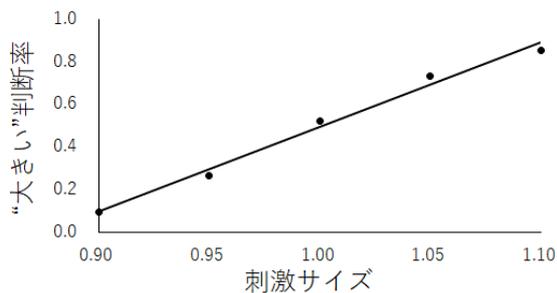


図 8. 視点自由度ごとの“大い”判断率の平均値

本研究より、VRにおける視点自由度は大きさ知覚の正確さに影響を与え、視点自由度が大きくなるほど、刺激サイズの効果が小さくなり、大きさの違いが分かりづらくなることが示唆された。

【参考文献】

- Hine, K., & Tasaki, H. (2019). Active view and passive view in virtual reality have different impacts on memory and impression. *Frontiers in psychology*, 10, 472011.
- Makransky, G., Borre-Gude, S., & Mayer, R. E. (2019). Motivational and cognitive benefits of training in immersive virtual reality based on multiple assessments. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35(6), 691-707.

- Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(6), 603-616.
- Tsushima, Y., Hine, K., & Yura, T. (2022). Freedom of movement alters size perception. *European Conference on Visual Perception*.
- Wetherill, G. B., & Levitt, H. (1965). Sequential estimation of points on a psychometric function. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 18(1), 1-10.

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
Degree of freedom of head movement alters size perception.	33rd International Congress of Psychology, Prague, Czech Republic	2024 年 7 月