

実環境と没入型 VR 環境における日常生活行動の差異の評価

Difference evaluation of daily-life activities in physical and immersive VR environments

水地 良明 *1

Yoshiaki Mizuchi

稲邑 哲也 *1*2

Tetsunari Inamura

*1国立情報学研究所

National Institute of Informatics

*2総合研究大学院大学

SOKENDAI (The Graduate University for Advanced Studies)

Motion capturing and analysis is gaining attention to realizing intelligent systems that support human daily-life activities. Utilizing immersive VR systems is a solution to reduce costs of developing experiment environments. Although recent improvements in 3D head-mounted displays and hand tracking controllers enable us to capture natural human behavior in various scenarios easily, there is concern about the inconsistency of human behavior between a real physical environment and a simulated VR one. In particular, the restriction of the field of view (FOV) is known as a major factor in causing the inconsistency such as underestimation of distance. However, the influence of FOV restriction on daily-life activities concerning spatial perception and object manipulation in the VR environment is still unclear. In this paper, we evaluate the difference in human behavior depending on the FOV restriction in the real and VR environments from comparison results of completion time of an object manipulation task.

1. はじめに

ロボットの知能獲得において、動作スキルの獲得 [Levine 16] やデータドリブンな対人行動の生成 [Liu 16] などが実現されており、身体的・社会的対話経験を観測、蓄積する重要性が高まっている。特に、日常生活行動をドメインとする動作スキルや行動モデルの獲得では、様々な状況で被験者による実演を通して、バリエーションに富んだ膨大な人間の挙動データを観測、蓄積することが求められる。また、単純な動作計測のみならず、発話内容や発話タイミング、視線情報、相対的な位置関係などマルチモーダル情報を記録することが望まれる。実環境において人間の行動観測を実現する実験システム [Sumi 07, Bršćić 15] も実現されているものの、センサの性能や遮蔽による制約が存在するため、視線などを含めた全身の身体動作や環境中の物体とのインタラクションを計測することは難しい。また、実験環境の構築やロボットの維持管理、被験者の確保に起因する膨大な実験コストも障壁となっている。

これらの問題を解決する方法の一つは、没入型仮想現実 (VR) を活用し、VR 環境中での人間の挙動を観測する方法である。実環境に比べて、安全性の確保や実験条件の制御、再現性の保証が容易であることも没入型 VR を活用する利点として挙げられる。近年では、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) やハンドトラッキングが可能なコントローラなどの VR デバイスの発展により、高い没入感が実現されており、人間の挙動を低コストで容易に観測、蓄積することが可能となっている。稲邑らは、それらの機能を活用することで、人間がアバターとしてログインし、仮想ロボットとの対話を可能とする SIGVerse と呼ばれる VR システム [Inamura 10] を提案している。また、SIGVerse ver.3 [Mizuchi 17] では、Unity と ROS を統合することで、様々な VR デバイスとロボットの制御ソフトウェアの活用した身体的・社会的対話実験の実施が可能となっている。このような没入型 VR を活用した人間の挙動の観測により、家事タスクのスキル獲得 [Bates 17] やロボット競技会における知能ロボットの評価 [Inamura 17] が実現されている。

高い没入感が実現されているものの、VR 環境の行動で得る被験者が得る感覚フィードバックは、実環境と比べて差異がある。そのため、実環境と VR 環境における人間の挙動の不整合が懸念されている。没入型 VR を活用して観測した人間の挙動データに基づいて実環境での人間支援システムを構築するためには、両環境における差異を明らかにすることが重要である。人間の挙動への影響が懸念される要素の一つが、HMD を利用することによる視野の制約である。日常生活行動において重要な空間認知や物体操作に対する視野の制約による影響は、明らかにすべき重要な要素の一つである。

実世界と VR 環境における人間の挙動の差異を検証する取り組みとして、ロボットとの協調作業における物体の手渡し動作への影響 [Duguleana 11] やジェスチャ認識における空間認知 [El-Shawa 17] に着目した研究が報告されている。Willemssen ら [Willemssen 09] は、HMD の重さや慣性、装着感、視野の制約による距離の過小知覚に対する影響を明らかにしている。しかしながら、従来研究では日常生活行動における空間認知や物体操作に対する視野の制約による影響は明らかになっていない。

本研究では、実環境と没入型 VR 環境における視野の制約が人間の日常生活行動へ与える影響について検証する。人間の挙動の差異を比較するため、指定された物体を一つずつ識別し、指定された場所に移動させる単純な物体操作タスクを設計し、達成時間を計測した。また、実環境において VR 環境と同じように視野を制限するためのゴーグル (Mock HMD) を作成し、視野の違いが与える影響について検証した。

2. 評価方法

2.1 実験環境

視野の制約に依存する人間の挙動を検証するため、単純な物体操作タスクを設計した。図 1 に、構築した実験環境を示す。環境の中央には、被験者に座ってもらうための回転式の椅子が設置されている。その両隣には、机が設置されており、一方には 15 個のブロックが操作対象として配置されている。実環境と VR 環境における重さによる挙動の差異を軽減するた

連絡先: 水地 良明, 国立情報学研究所, 〒101-8430 東京都千代田区一ツ橋 2-1-2, mizuchi@nii.ac.jp



図 1: 実験環境の構成

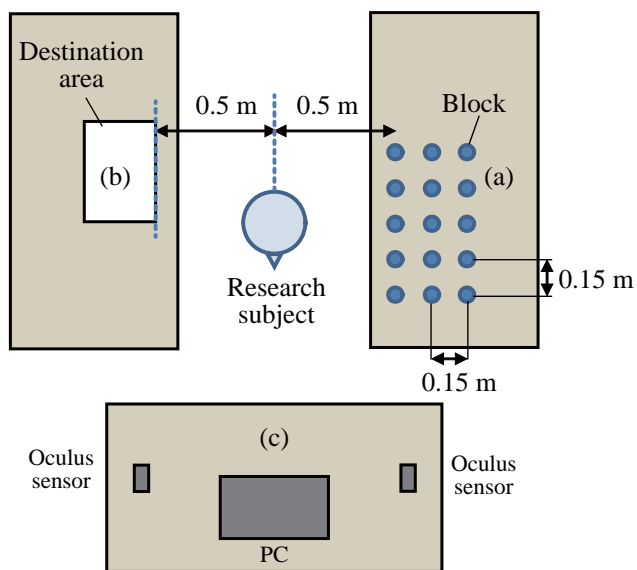


図 2: 実験環境のレイアウト

め、10g 程度の極軽量のブロックを採用した。ブロックは 7 種類の色のいずれかに属しており、3 つごとに特定の形に属している。また、各色には最大 3 つのブロックが属する。ブロックどうしの間隔は 15cm とした。もう一方の机には、物体の移動先として、A3 サイズの紙が貼付されている。ブロックと紙の間隔は 100cm となっており、いずれも被験者の手が届く範囲に配置されている。従って、ブロックと移動先となる紙が同時に視野に収まらない配置となっており、被験者は周りを見渡して物体の認識と把持、移動を行う必要がある。

図 3 に、構築した VR 環境を示す。環境は Unity 3D を用いて構築した。ブロックや紙のサイズ、机の高さは実環境と同じである。また、ブロックや紙の配置が実環境と VR 環境で一致するように調整を行った。

2.2 デバイス

被験者が VR 環境にログインするためのインターフェースとして、Oculus Rift CV1(HMD) と Oculus Touch(ハンドヘルドコントローラ) を利用した。HMD の位置・姿勢が VR 内のアバターの視線に反映され、奥行きのある一人称視点画像が被験者に提供されるようになっている。同様に、コントローラの位置・姿勢がアバターの手に反映される、アバターの手が接触した状態でコントローラのトリガーを引くことで、実世界に近

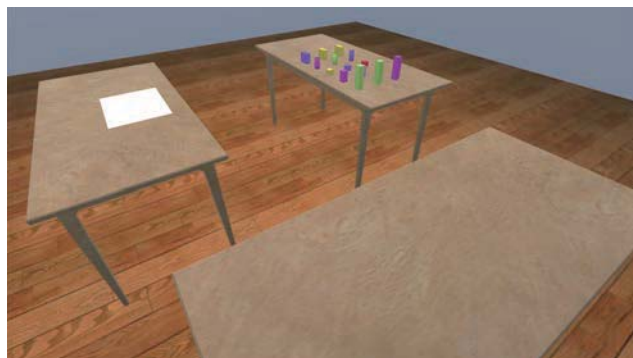


図 3: VR 環境に構築した実験環境

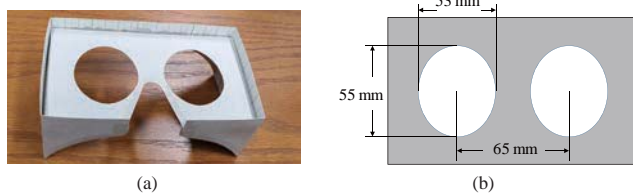


図 4: Mock HMD の外観と構成

い感覚で仮想物体を把持、移動できるようになっている。

実環境において Oculus Rift CV1 と同じように被験者の視野を制限するため、HMD を模したゴーグル (Mock HMD) を作成した。図 4 に、Mock HMD の外観と設計を示す。レンズと目の間隔を 12mm とした場合の Oculus Rift の片目の視野角は、水平 84°, 垂直 93° となっている。また、両目での視野角は、水平 94°, 垂直 93° となっている。これらの仕様に従って、目の中心と視野を制限する穴との間隔が 25mm であると仮定し、Mock HMD の仕様を決定した。

2.3 実験条件

実験では、3 つの条件を設定した。図 5 に、各条件における被験者の様子を示す。一つ目の条件では、実環境において視野に制約のない状態で被験者にタスクを実施してもらった。二つ目の条件では、実環境において Mock HMD を利用して視野を制限した状態で被験者にタスクを実施してもらった。三つ目の条件では、被験者に VR 環境にログインしてもらい、タスクを実施してもらった。VR インタフェースに起因する重さや慣性、装着感などの影響の差を軽減するため、実環境においても HMD を頭に寄せ、手にコントローラを固定した状態で、被験者にタスクを実施してもらった。

被験者には、指定された 3 つのブロックを図 2 中の (a) から (b) に移動してもらった。移動対象となるブロックは、特定の色もしくは形状で指定した。指定された色または形状に該当

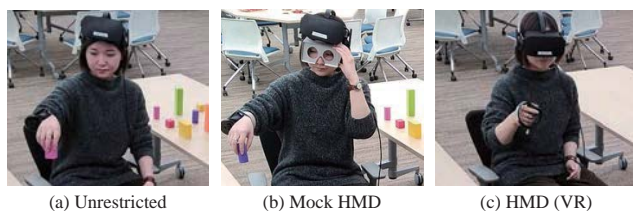


図 5: 各条件における被験者の様子

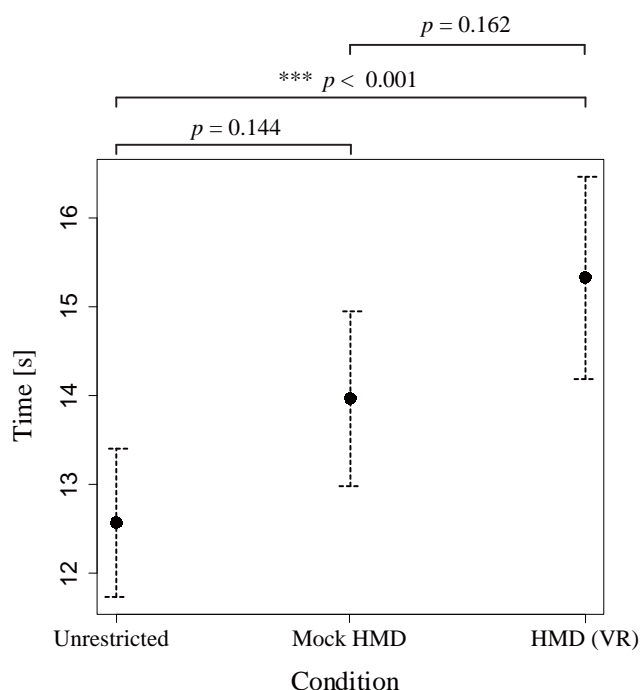


図 6: 各条件における達成時間の平均と 95%信頼区間

するブロックは、必ず 3 つのみ存在するようになっている。ブロックを操作する際には、右手のみを用いて、一つずつ操作してもらった。ブロックの配置は、試行ごとにランダムに変更した。各試行の開始前に、被験者がブロックの配置を把握できないようにするため、図 2 中の (b) 方向を向いて待機してもらった。各試行の開始時に、図 2 中の (c) 方向を向いてもらい、それと同時に時間の計測を開始した。3 つ目のブロックを紙の上に置き終えるまでの時間を計測した。

実験では、12 人の被験者（男性 10 人、女性 2 人）に参加してもらった。被験者の年齢は 20 歳から 30 歳で、平均 22.7 歳であった。各被験者に、3 つ全ての条件で上記の物体操作タスクを実行してもらった。各条件につき、3 パターンの色（紫、黄、緑）、3 パターンの形状（小さいキューブ、円柱、短い直方体）を対象とした合計 6 回の試行を実施してもらった。慣れや疲れによる影響を軽減するため、2 人の被験者ごとに条件の実施順を変えてタスクを実施してもらった。VR 環境での試行を始める前には、被験者に VR インタフェースの操作方法を説明し、物体の操作になれるまで練習してもらった。物体操作の速さについては指定せず、任意の速度でタスクを実施してもらった。

3. 実験結果

図 6 に各条件の達成時間の平均と 95% の信頼区間を示す。本実験では、全ての試行において、把持に失敗するなどのもたつく動作は見られず、達成時間には不適切な挙動による遅延は含まれていない。各条件の平均達成時間は、視野の制約が無い条件で 12.6 秒、視野の制限がある条件で 14.0 秒、VR 環境での条件で 15.3 秒であった。図 6 の上部に、Bonferroni の補正を用いて多重比較を行った結果を示す。視野の制約が無い場合と VR における達成時間には、有意な差が見られた ($p < 0.001$)。一方で、視野に制限がある場合と VR における達成時間には、有意な差は見られなかった ($p = 0.162$)。従って、視野の制

限によって達成時間に有意な差が無くなることから、視野の制約が物体操作時の人間の挙動に影響を与える大きな要因の一つであることがわかる。

4. まとめ

没入型 VR 環境における視野の制約による影響を検証するため、実世界と VR における物体操作時の人間の挙動の差異を評価した。これまで、視野の制約に依存する距離の過小知覚などについては報告されているものの、環境内を見渡して物体を見つけたり、物体のある場所に手を伸ばしたりといった場面において、視野の制約や実環境と VR 環境の違いが人間の挙動に与える影響は明らかになっていなかった。本研究では、物体操作タスクを設計し、視野の制約および実環境と VR 環境の違いにより、タスクの達成に要する時間どのように変化するか検証した。実験の結果から、実環境で視野の制約が無い条件に比べ、VR 環境での達成時間が有意に長くなった。一方で、実環境で視野を制限した条件と VR 環境での達成時間に有意な差はなかったことから、視野の制約が物体の認識や操作を行う際の人間の挙動に影響を与える大きな要因であることが明らかとなった。

没入型 VR を活用して観測した人間の挙動データに基づいて実環境での人間支援システムを構築するという観点から、環境中を見渡しながら空間を把握するような多くの視線の変化を伴うシナリオでは、実環境と VR 環境における人間の挙動に大きな差異が生じることが懸念される。例えば、稲邑らはロボットの自然言語生成能力を評価する競技タスクを提案している [Inamura 17]。この競技では、VR 環境に被験者がログインし、ロボットが生成した説明文に従って複数の部屋から構成された環境中を歩き回り、対象物を見付けるまでの時間からロボットの説明能力を評価している。従来のシナリオでは、周りを見渡しながら部屋を特定するためにランドマークとなる家具を探すなど、広範囲を対象とした空間把握が必要とされるため、視野の制約による人間の挙動への影響が懸念される。このタスクでは、自然言語の生成能力の評価を対象としているため、深刻な影響はないと考えられるが、本研究の結果を踏まえると、実環境での人間支援システムを構築するための行動データ収集という観点では、被験者が視野を変化させる頻度が減るように、探索範囲を限定することや調理タスクなど手元での作業を対象としたシナリオに工夫するなどの注意を払う必要があると言える。

謝辞

本研究の成果の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務、および JST CREST（ Grant 番号 JPMJCR15E3 ）の支援を受けたものです。

参考文献

- [Levine 16] Levine, S., Pastor, P., Krizhevsky, A., and Quillen, D.: Learning Hand-Eye Coordination for Robotic Grasping with Deep Learning and Large-Scale Data Collection, in Int. Symp. on Experimental Robotics, pp. 173-184, 2016.
- [Liu 16] Liu, P., Glas, D. F., and Kanda, T.: Data-Driven HRI: Learning Social Behaviors by Example from Human-Human Interaction, IEEE Trans. on Robotics, Vol. 32, pp. 988-1008, 2016.

- [Sumi 07] Sumi, Y., Ito, S., Matsuguchi, T., Fels, S., and Iwasawa, S.: Collaborative capturing, interpreting, and sharing of experiences, *Journal of Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 11, No. 4, pp.265–271, 2007.
- [Bršćić 15] Bršćić, D., Kidokoro, H., Suehiro, Y. and Kanda, T.: Escaping from children's abuse of social robots, in *Proc. of ACM/IEEE Int. Conf. on Human-Robot Interaction*, pp. 59–66, 2015.
- [Inamura 10] Inamura, T., Shibata, T., Sena, H., Hashimoto, T., Kawai, N., Miyashita, T., Sakurai, Y., Shimizu, M., Otake, M., Hosoda, K., Umeda, S., Inui, K., and Yoshikawa, Y.: Simulator platform that enables social interaction simulation - SIGVerse: Sociointelligence simulator, in the *IEEE/SICE Int. Symp. on System Integration*, pp. 212-217 (2010)
- [Mizuchi 17] Mizuchi, Y., and Inamura, T.: Cloud-based Multimodal Human-Robot Interaction Simulator Utilizing ROS and Unity Frameworks. in *Proc. of the IEEE/SICE Int. Symp. on System Integration*, ThA2.3, 2017.
- [Bates 17] Bates, T., Amirez-Amaro, K., Inamura, T., and Cheng, G.: On-Line Simultaneous Learning and Recognition of Everyday Activities from Virtual Reality Performances. in *Proc. of IEEE/RSJ Int ' l Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3510–3515.
- [Inamura 17] Inamura, T., and Mizuchi, Y.: Competition design to evaluate cognitive functions in human-robot interaction based on immersive VR, *RoboCup International Symposium*, 2017.
- [Duguleana 11] Duguleana, M., Barbuceanu, F. G., and Mogan, G.: Evaluating Human-Robot Interaction during a Manipulation Experiment Conducted in Immersive Virtual Reality, in *Int ' l Conf. on Virtual and Mixed Reality*, pp. 164–173, 2011.
- [El-Shawa 17] El-Shawa, S., Kraemer, N., Sheikholeslami, S., Mead, R., and Croft, E. A.: “Is this the real life? Is this just fantasy?”: Human proxemic preferences for recognizing robot gestures in physical reality and virtual reality, in *Proc. of IEEE/RSJ Int ' l Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 341–348, 2017.
- [Willemsen 09] Willemsen, P., Colton, M. B., Creem-Regehr, S. H., and Thompson, W. B.: The effects of head-mounted display mechanical properties and field of view on distance judgments in virtual environments, *ACM Trans. on Applied Perception*, Vol. 6, Iss. 2, 2009.