

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 29 日現在

機関番号：22303

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2023

課題番号：20K23347

研究課題名（和文）仮想空間の現実的表現が臨場感に与える影響に関する脳波事象関連電位を用いた検討

研究課題名（英文）An ERP study on sense of presence with respect to visual realism in virtual environment

研究代表者

赤間 章英（Akama, Takahide）

前橋工科大学・工学部・講師

研究者番号：00847733

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、仮想空間の現実的表現が臨場感に与える影響を確かめるために、一対比較法による主観評価に加えて、臨場感の高さが課題成績に影響する記憶課題を行ない、記憶課題時の脳波事象関連電位から臨場感に影響する認知処理に注目した。実験の結果、主観評価より現実の空間に近い、多面形態で高階調反射の立体からなる仮想空間の方が、臨場感を得られることが明らかとなった。しかしながら、記憶課題の成績および脳波事象関連電位においては、仮想空間の現実的表現の影響は確認できなかった。これらは、仮想空間の現実的表現は主観的な臨場感に影響するものの、仮想空間の記憶に与える影響はあまり大きくない可能性を示すと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで仮想空間の臨場感に関する研究は、臨場感向上のための技術研究が主で、臨場感に関連する神経活動に注目した研究は少なかった。今回の研究により、仮想空間の形態および光学表現が現実に近い場合に、主観的な臨場感が増すことが明らかとなった。一方で、仮想空間の形態および光学表現が仮想空間の立体に対する記憶成績および神経活動に与える影響は見られなかったことから、仮想空間の現実的表現が記憶に与える影響はあまり大きくない可能性が示された。したがって、記憶成績・臨場感・視覚認知の関連性を明らかにするためには、視覚表現以外も検討する必要性が示された。以上の点で、本研究は学術的な意義があったと考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study focused on confirming the effect of the realistic representation of virtual space on sense of presence and memory. In this study, there were the subjective evaluation about sense of presence by the one-pair comparison method and the memory task in which the level of presence affects task performance. In addition, cognitive processings were confirmed from event-related potentials during the memory task. The experimental results showed that subjects felt high sense of presence when the virtual space was consisted of three-dimensional objects with multiple surfaces and high-gradation reflections. However, no influence of the realistic representation of the virtual space was observed in the performance of the memory task and the EEG event-related potentials. These results suggest that although the realistic representation of virtual space affects subjective sense of presence, it may not strongly affect the memory of virtual space.

研究分野：実験心理学

キーワード：臨場感 パーチャルリアリティ 事象関連電位 ワーキングメモリ 質感

## 1. 研究開始当初の背景

コンピュータで生成した仮想空間への没入を可能にする、バーチャルリアリティ(VR)技術は、建築や医療など多岐に渡る分野で活用が期待されており、近年のヘッドマウントディスプレイ(HMD)の低価格化、高性能化によって、さらなる普及が見込まれている。VR技術を用いて没入した仮想空間内での体験の質的な向上には、自身がその場にいると感じる「臨場感」の向上が必要であると指摘されており[1]、臨場感向上のための技術研究も盛んに行われている。したがって、VR技術を活用した社会の発展のためにも、臨場感を向上させる要因とその認知処理の解明は重要である。

臨場感に対する、仮想空間の現実性が与える影響に関しては意見が別れている。仮想空間の現実性に依りて臨場感が高まるという意見もあれば[2]、現実性が臨場感に与える影響はほとんどないという意見もある[3]。これらの意見はどちらも質問紙による主観評価を基にしており、質問紙による臨場感の評価が一貫しないことは、かねてより議論されている[4]。そのため、コンピュータの処理負荷が高い現実に忠実な再現が臨場感の向上に必要なかは、正しく把握できていないと言える。近年の研究では、臨場感を高めることにより、仮想空間内に配置された3次元立体を正確に記憶できることが報告されている[5]。これは、記憶成績といった客観的指標による臨場感の検討が可能であることを示している。したがって、仮想空間の現実性が臨場感に与える影響は、主観評価だけでなく、記憶課題による行動成績も含めた検討が必要である。

記憶課題時に脳波を計測し、得られた脳波より事象関連電位(ERP)を導出することで、刺激ごとの記憶負担や視覚認知処理の違いを検討することが可能である[6]。刺激呈示やノイズ低減の観点で、仮想空間へ没入している間の脳波からERPを導出することは難しいため、これまでにERPを用いて、臨場感に關与する認知処理を明らかにした研究はほとんどない。そのため、現状では、認知処理と照らし合わせて臨場感に關与する脳領域を推定することも困難である。したがって、記憶課題時のERPから臨場感に關与する認知処理を特定する必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、仮想空間の現実的表現が臨場感に与える影響を、主観評価と記憶課題の行動成績から明らかにすること、および、記憶課題時のERPから臨場感に影響する認知処理を明らかにすることとした。

## 3. 研究の方法

### (1)形態および表面反射特性による現実性の実験的制御




本研究では、仮想空間内の3次元立体の形態と表面反射特性を変更することで、仮想空間の現実的表現を調整した。ヒトが視対象の現実性を判断する要因の一つとして物体の質感がある。質感は照明環境以外にも、物体の形態及び表面反射特性が影響する。仮想空間に配置する3次元立体の表面形状は、ポリゴンと呼ばれる三角形または四角形からなり、多くのポリゴンを使用することで複雑な立体形状を表現している。この3次元立体の表面形状は、quadric-based surface simplificationと呼ばれる計算手法を用いることで、全体の形をできるだけ変更せずに構成ポリゴン数を減らすといった、形態の簡略化ができる[7]。また、仮想空間では、物体の表面反射特性を光学的に制御することで、反射光の階調を自由に制御できる。これらより、より現実に近い環境として、空間内の立体が多面形態で高階調反射である仮想空間を用意し、より現実から離れた環境として、仮想空間内の立体が少面形態で高階調反射である仮想空間と、仮想空間内の立体が多面形態で低階調反射である仮想空間を用意した(図1)。

### (2)実験内容と脳波計測

実験では、仮想空間内を探索し、空間内に配置されている立体を記憶する探索課題と、PC画面上に連続して提示される立体が探索課題時に記憶した3次元立体かどうかを解答する記憶課題を行なった。探索課題では、被験者にHMDを装着させ、実際に身体を動かしながら、美術館を模した仮想空間を探索させた。仮想空間内には、記憶対象となっている立体が一つ配置されており、1分間おきに合計8回切り替わった。被験者には、立体の周囲を回遊しながら色と形の組み合わせを記憶するよう教示した。記憶課題は、探索課題の後に行い、被験者には装着していたHMDを外させ、あご台を用いて着座姿勢を固定した状態で行なった。被験者の手元にはボタンが左右に1個ずつ配置された解答用のコントローラーがあり、PC画面上に連続して提示される立体の画像刺激のうち、探索課題時に記憶した立体の色と形の組み合わせが合致する場合には右のボタンを、合致しない場合には左のボタンを押下させた。探索課題と記憶課題は、仮想空間の現実的表現に合わせて3度行なった。全ての課題を終えた後で、3つの仮想空間(立体が多面形態で高階調反射、少面形態で高階調反射、多面形態で低階調反射)に対して、一対比較法により臨場感に關する主観評価を行なった。記憶課題の行動指標として、画像が提示されてからボタンが押下されるまでの時間を反応時間とした。また、記憶した立体の色と形の組み合わせに対して、正しく記憶したと解答できた割合をHit率とし、誤って記憶していないと解答した割合をFalse

Alarm 率として、信号検出理論に基づき[8]、記憶した立体の色と形の組み合わせを正しく判別できたことを示す、指標として感度  $d'$  を算出した。

ERP は記憶課題に計測し計測した脳波から導出した。ERP は、提示された刺激および刺激に対する情報処理によって波形が異なり、ERP を用いてヒトの視覚処理を調べた先行研究では、刺激提示後 100~200 ms 前後に陰性方向に頂点を持つ N1 振幅は視覚刺激の識別処理を示す可能性が指摘されており[9]、記憶を思い出す過程を調べた先行研究では、刺激提示後 300 ms 以降に陽性方向に頂点を持つ P3b 振幅は記憶負担を示す可能性が指摘されている[10]。これらより、本研究では記憶課題時の ERP の N1 振幅と P3b 振幅を解析対象とすることで、仮想空間の現実的表現の違いによって、刺激の識別処理に変化が見られたか、および、記憶負担が異なったかを検討した。

	実験刺激		
	①	②	③
			
形態	多面	少面	多面
反射光	高階調	高階調	低階調

└───┬───┘ 実物に忠実な表現      └───┬───┘ 実物を簡略化した表現

図 1. 仮想空間ごとの形態と表面反射

#### 4. 研究成果

実験は、生命倫理審査委員会の承認を得て行われ、被験者 10 名が参加した（解析対象となったのは 8 名）。解析は、一元配置 3 水準の反復測定分散分析を行なった。

##### (1) 現実的表現の臨場感に対する影響

主観評価の結果、最も現実の空間に近い、空間内の立体が多面形態で高階調反射である仮想空間がより臨場感が高いと評価された(図 2 左)。我々の視覚認知は、普段見慣れた環境をベースとして処理されていることが指摘されていることから[11]、被験者はより現実に近い環境において高い臨場感を感じた可能性がある。しかしながら、本研究では二者のうちから強制的に一方を選択する、一対比較法により臨場感の主観評価を行なったため、感じていた没入度に違いがなくとも、現実に近い空間の方が臨場感が高かったと被験者が判断した可能性が考えられる。

##### (2) 現実的表現の記憶課題に対する影響

反応時間の結果、仮想空間の現実的表現の違いによる影響は優位傾向であり、より現実の空間に近い、多面形態で高階調反射が配置された仮想空間の成績が高いように見られるものの、水準間において明確な違いは見られなかった(図 2 中)。感度  $d'$  も同様の結果であり、仮想空間の現実的表現の違いによる影響は優位傾向にとどまった(図 2 右)。これらは、現実的表現に伴う臨場感の違いが記憶に与える影響は小さい可能性を示していると考えられる。しかしながら、臨場感を高めることで空間内に配置された 3 次元立体に対する記憶精度の向上を報告した先行研究があるように[5]、身体の動きに追従して視界が変化するという、臨場感に与える影響が強い要因の場合に、ヒトの記憶まで影響するものと考えられる。

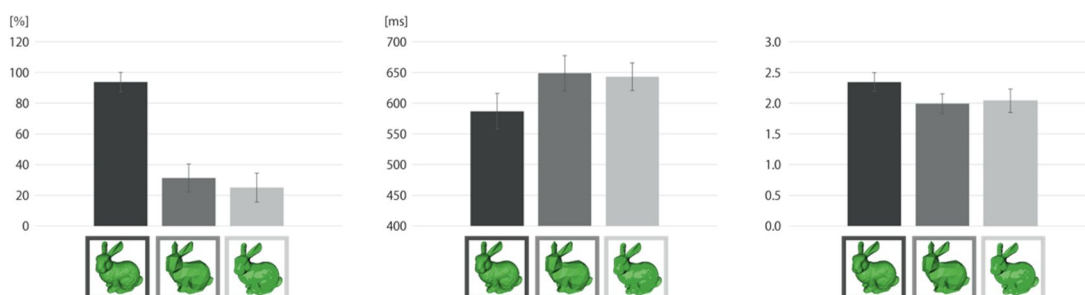


図 2. 各仮想空間に対する、臨場感の選択率 (左)、反応時間(中央)、感度  $d'$  (右) いずれもエラーバーは、標準誤差を示している。

##### (3) 現実的表現の認知処理に対する影響

脳波の結果は、図 3 の通りであった。N1 振幅および P3b 振幅ともに、仮想空間の現実的表現

の違いによる影響は確認されなかった。N1 振幅は識別処理の中でも物体のカテゴリ分け処理を特に示すため、3次元立体に動物のみを用いていた本研究では、視覚表現の違いによる影響が表出しにくかったと考えられる。また、思い出す際の記憶負担を示す、P3b 振幅においても水準間の明確な違いが見られなかったことは、仮想空間の現実的表現の違いが記憶負担に与える影響はあまり大きくない可能性があると考えられる。

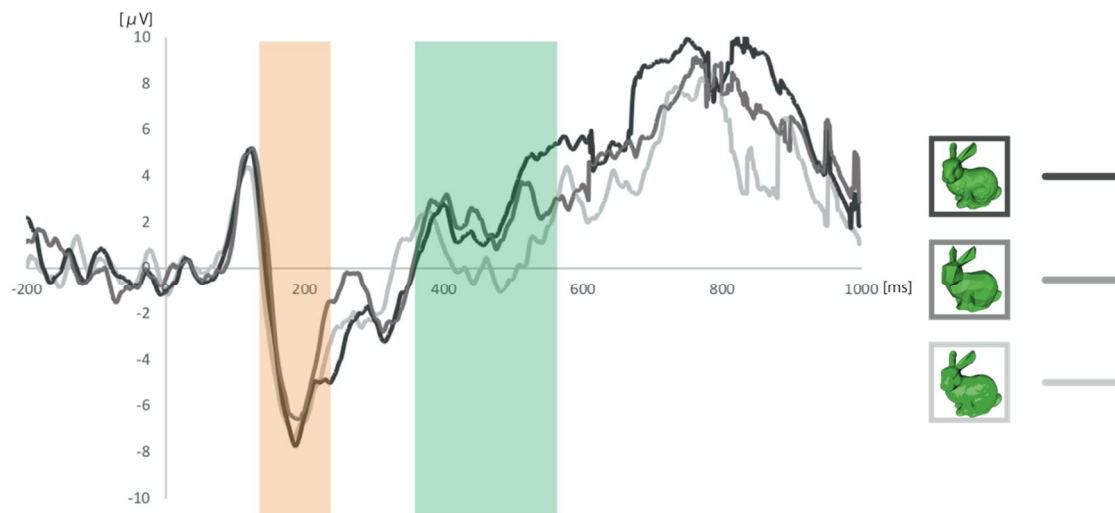


図 3. 各仮想空間の ERP (O1 部位)

橙色の範囲が N1 振幅の導出に用いた範囲 (150~250 ms), 緑色の範囲が P3b 振幅の導出に用いた範囲 (350~550 ms)。N1 振幅および P3b 振幅の解析では導出範囲の平均値を使用した。

#### (4) まとめ

今回の研究では、現実に近い環境の仮想空間の方が高い臨場感を得られやすいことが明らかとなった。しかしながら、今回の研究で用いた一対比較法では、各仮想空間の臨場感の程度は分からなかったため、従来のリッカートスケールなどと併せて比較検討する必要がある可能性が示された。また、臨場感が記憶課題の成績や識別処理や記憶負担などの認知処理に与える影響は認められなかった。これらは仮想空間の現実的表現は主観的な臨場感に影響するものの、現実的表現が仮想空間の記憶に与える影響があまり大きくない可能性を示すと考えられる。そのため、現実的表現の記憶への影響を確かめるためには、十分な被験者数で実験を行い、効果量を求めるなどのより詳細な検討が必要だと思われる。

仮想空間の現実的表現が臨場感に与える影響、および、臨場感に影響する認知処理をより詳細に検討するためには、記憶する対象に新規立体を用いることや、重力条件を変更するなど、現実では再現の難しい条件を設けるなどして、現実的表現・臨場感・認知処理の三者間の関連性を調べる必要性が示された。

#### 引用文献

1. Vora, J., Nair, S., Gramopadhye, A. K., Duchowski, A. T., Melloy, B. J., & Kanki, B. (2002). Using virtual reality technology for aircraft visual inspection training: presence and comparison studies. *Applied ergonomics*, 33(6), 559-570.
2. Slater, M., Khanna, P., Mortensen, J., & Yu, I. (2009). Visual realism enhances realistic response in an immersive virtual environment. *IEEE computer graphics and applications*, 29(3), 76-84.
3. Zimmons, P., & Panter, A. (2003, March). The influence of rendering quality on presence and task performance in a virtual environment. In *IEEE Virtual Reality, 2003. Proceedings.* (pp. 293-294). IEEE.
4. Freeman, J., Avons, S. E., Pearson, D. E., & IJsselstein, W. A. (1999). Effects of sensory information and prior experience on direct subjective ratings of presence. *Presence*, 8(1), 1-13.
5. Pollard, K. A., Oiknine, A. H., Files, B. T., Sinatra, A. M., Patton, D., Ericson,

- M., ... & Khooshabeh, P. (2020). Level of immersion affects spatial learning in virtual environments: results of a three-condition within-subjects study with long intersession intervals. *Virtual Reality*, 24(4), 783-796.
6. 赤間章英, 石橋圭太, & 岩永光一. (2019). 視覚刺激の意味が配色の記憶に与える影響-ヒト型図形を用いた事象関連電位による検討. *日本生理人類学会誌*, 24(3), 95-105.
  7. Heckbert, P. S., & Garland, M. (1999). Optimal triangulation and quadric-based surface simplification. *Computational Geometry*, 14(1-3), 49-65.
  8. Hautus, M. J., Macmillan, N. A., & Creelman, C. D. (2021). *Detection theory: A user's guide*. Routledge.
  9. Vogel, E. K., & Luck, S. J. (2000). The visual N1 component as an index of a discrimination process. *Psychophysiology*, 37(2), 190-203.
  10. Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical neurophysiology*, 118(10), 2128-2148.
  11. Caharel, S., Leleu, A., Bernard, C., Viggiano, M. P., Lalonde, R., & Rebaï, M. (2013). Early holistic face-like processing of Arcimboldo paintings in the right occipito-temporal cortex: evidence from the N170 ERP component. *International Journal of Psychophysiology*, 90(2), 157-164.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------