

バーチャルリアリティの奥行知覚研究

現実の拡張を改善する両眼視とステレオプシスの応用と推測

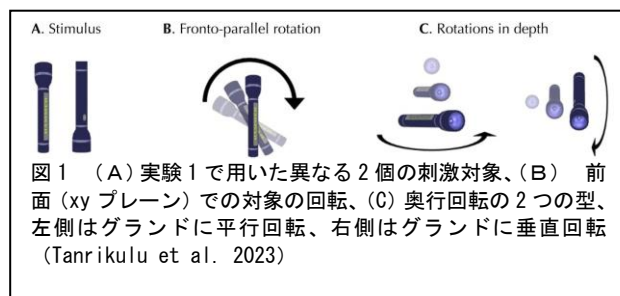
VR、AR（拡張現実）、MR（複合現実）など現実を拡張するデバイスは巨大なテクノロジーでありバーチャルな中味（videogames, movies）を交換あるいは融合できる。これらの装置はビデオゲームやその他のアプリで広く用いられているが更に両眼視の異常者の測定の処置にも使える特徴がある。もし両眼の水平視差が異常ならばステレオプシスは用いられず、シノポトフォレス大型弱視鏡（synoptophores）に頼らなければならない。この異常者には、視差の他、輝度、コントラスト、サイズ、位置が両眼間で異なる。

Levi (2023) は、両眼視異常を対象にして拡大リアリティデバイスを持ち測定あるいは処置する現在あるいは潜在的な事実を概観している。拡大リアリティデバイスには VR、拡大リアリティ AR、混合リアリティ MR などがあり、多くはビデオゲームに使用されるが両眼視異常者の測定や処置に使われる。それらの装置は異なる対象を同時に両眼に提示して視差を生み出しステレオプシスを用いて奥行の知覚を強いる。高度な技術であるシノポトフォレス（synoptophores）では両眼間でイメージがコントラスト、輝度、大きさ、位置、内容（content）が両眼の異常の測定や処置に使われる。さらに、VR のアイトラッキングを使うと異常の対応に好適である。Levi は、最近の両眼視アノマリイの測定と処置の研究をレビューしている。

VR 対象間の奥行と前額平行軸回転の知覚バイアス：先験提示による依存性効果

先行経験のある刺激対象は組織的にバイアスがかかりその特徴が以前に経験した刺激特徴から歪んでみられる。そのような一連の依存はしばしば脳が知覚的連続性をもつことでリンクされる。これまでそのような依存効果は 2 次元の刺激のみで研究されたので、ここでは自然対象の 3 次元における一連の先験依存についてバーチャルリアリティ（VR）を用いて検討・実験した (Tanrikulu et al. 2023)。

実験 1 では、毎日の暮らしで普通に出会う 3D の対象をバーチャルに作成し、それらの方向を再生するように尋ねた。そのため対象の回転軸と観察者からの距離を操作し、大きな一連の依存効果を観察して、さらに対象が奥行回転した時と対象が観察者から遠ざかるようにバーチャルにレンダリングした時のバイアスを観察した。実験 2 では、試行ごとに対象認知の変化から一連の対象依存の特殊性をテスト対象が同一かどうか、対象が同一のカテゴリか、あるいは異なるカテゴリの異なる対象かをしらべた。実験 3 では対象の距離と網膜の大きさを操作して一連の依存性が VR の奥行手がかりに影響しているかをしらべた。



実験 1 では、被験者は 16 人の健常な成人で VR システムを用い、図 1 に示したように回転を前額平行と奥行回転軸で変化して、図 2 のような手続きで提示し対象の方向をレスポンスバーのコントローラーで調整させて、対象提示後の短時間記憶の方向知覚の誤差をしらべた。

その結果、バーチャルリアリティの環境では大きな一連の依存効果が知覚反応で見出された。最も近接に提示されたアイテムの判断には先行して提示されたアイテムに強く影響されたバイアスがあった。とりわけ、これらの影響は 2 次元対象のバイアスに比較すると極めて大きくなり、前面回転より奥行回転によると考えられて、これは知覚上不確定のためと考えられる。

実験 2 では、同一の対象と同じカテゴリの異なる対象および異なるカテゴリの異なる対象で、その違いによる先験依存効果について対象方向軸を変化させてしらべた。被験者は

11名の視覚健常なボランティアとスタッフで、4種の異なる対象（剣と歯ブラシ）をVRで作成して観察距離1.5mに提示した。ここでは2番目の提示対象は（1）初めての提示対象と同一、（2）初めての対象と同一のカテゴリ、（3）異なるカテゴリの対象、の3通りでテストした。その結果、強い先行経験の依存が見いだされ、とくに回転が奥行軸の場合に大きく、そのバイアスの大きさは奥行軸回転が2.8度、前額平行軸が1.3度であった。しかし後続の提示対象が同一対象あるいは異なる対象、そして異なる対象で異なるカテゴリ条件ではバイアスに差がみられなかったし、また異なる対象（剣あるいは歯ブラシ）間でも差はなかった。さらに先行提示の依存反応の影響は奥行軸回転で反応の散布が前額平行軸より多く不確実が大きかった。

実験3では、観察距離の先験依存効果をしらべるために網膜投影サイズの影響をVR技法を用いてレンダリングしたイメージで試した。刺激対象は実験1と同じ懐中電灯を用いてVRで4mと12mに観察距離を設定して観察させた。その結果、4m条件と12m条件では有意差がないこと、バイアスの大きさは4m条件で2.97、12m条件で2.83となり距離要因の影響があること、しかし前額平行条件では観察距離による差は起きないが、4m条件の奥行回転では大きなバイアスがでた。対象回転が前額平行軸条件では回転反応散布度と先験依存の間の振幅の間では相関対応がみられたが、奥行回転条件では相関対応はなく、これは奥行回転条件での個人差が大きいことを示した。実験2の結果と同様に奥行回転は判断の不確かさが高く、一連の先験依存と反応の個人差が高いことを示した。

結局、実験の結果、VRの3D対象の知覚の不確実性は一連の先験依存が増えるとともに増大した。したがって、VRにおける知覚依存性のメカニズムをそれらのバイアスからさらに検討する必要がある。

VR下の視覚探索のヘッドマウントディスプレイのキャリブレーション（較正）

VR環境に入って研究することは科学者にとって重要な手段となる。現実世界では安全に組織化できない状況を仮想的にシミュレートすることで心理学、治療、評価し、人間の行動の側面を観察、評価、訓練できる。しかし、伝統的なグラフィックスを使用して没入型環境を作成することは、視覚的刺激に対するユーザーの反応を評価しようとする研究者の目標に相いれない場合がある。標準的なコンピューターモニターは、色に忠実な刺激を提示できるかもしれないが、それは一般的に、参加者が現実世界の視覚的文脈を見ることができるところから見るものである。

この論文では、Zaman et al. (2023)が参加者の視覚刺激と文脈をより細かく制御できる新しい手段を提案した。輝度、スペクトル分布、色度などのディスプレイ特性を分析することにより、デバイスに依存しないカラーキャリブレーションのアプローチを提案し、検証、様々なメーカーの5つの異なるヘッドマウントディスプレイを評価しその視覚出力の生成した。

その結果、レンダリングを利用した研究によってどのような影響をVR-HMDの色覚研究に及ぼすかが明らかになり、研究者が理想的なHMDを選ぶのに役立つが、特定のHMDで達成可能な明るさと色域にはまだ限界がある。しかし、どのHMDでも達成可能な色域にはまだ限界があるが、ディスプレイの特性とグラフィックスレンダリングパイプラインを注意深く考慮することで、ほとんどの関連刺激は安価なHMDで生成することができる。

また、本研究で示した2つの異なるキャリブレーションプロセスを使用することで、様々な仮想研究を行うことができる。仮想環境への没入は、科学者にとって重要な課題である。現実世

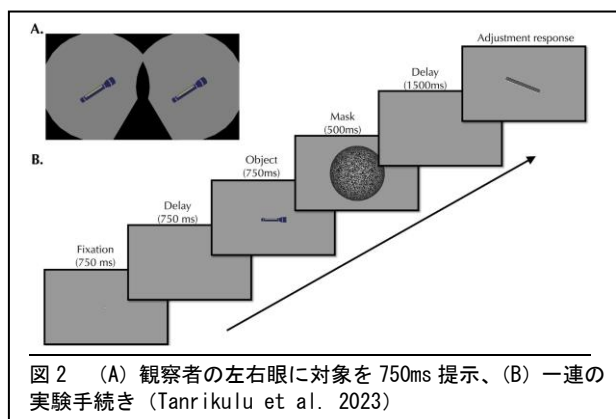


図2 (A) 観察者の左右眼に対象を750ms提示、(B)一連の実験手続き (Tanrikulu et al. 2023)

界では安全に組織化できないような状況を仮想的にシミュレートして心理学、治療、評価など、人間の行動の側面を観察、評価、訓練、観察し、評価できるが、しかし伝統的なグラフィックスを使用して没入型環境を作成することは、明確に定義された視覚的刺激に対するユーザーの反応を評価するという研究者の目標と矛盾する場合がある。標準的なコンピュータモニターは、色に忠実な刺激を表示できるかもしれないが、参加者が現実世界の視覚的文脈を見ることができる座った位置から見ているだけであるから、ここでは視覚科学者が視覚刺激をより細かく制御し、参加者の視覚刺激と文脈を制御できる新しい手段を提案し、検証した。