



# ブランコ型 VR での体の支持条件が 揺動感覚に与える影響の分析

Analysis of the Influence of Body Support Conditions on the Sensation of Sway in a Swing-type VR

潘 虹羽<sup>1)</sup>, 安藤 潤人<sup>1)</sup>, 李 亮<sup>1)</sup>, 野間 春生<sup>1)</sup>

Hongyu PAN, Mitsuhiro ANDO, Liang LI, and Haruo NOMA

1) 立命館大学大学院 情報理工学研究科 (〒567-8570 大阪府茨木市岩倉町 2-150, ise26@st.ritsumei.ac.jp)

概要：VR が広く一般化されるにつれ、VR 酔いの現象が大きな課題となってきた。本研究では VR 酔いを引き起こす一つの原因と考えられる揺動感覚に着目し、同じコンテンツであっても体験方法の違いが揺動感覚に及ぼす影響を検証した。先行研究ではブランコ型の VR の体験時に足の接地有無によって揺動感覚が大きく変わるという現象を評価した。本報告ではその現象の要因を探ることを目的として、杖や手すりなどの異なる体験条件下で実験を行い、それぞれの揺動感覚を比較評価した。実験結果から、体の支持方法を変化させることによって、揺動感覚をコントロールできることが示された。

キーワード：バーチャルリアリティ、モーションシックネス、揺動感覚

## 1. はじめに

VR 酔いは、VR 体験中に生じる眩暈や吐き気などの不快な症状である。その主たる原因は前庭感覚や体性感覚とのずれであると考えられている[1]。この VR 酔いが軽減または解消することは、VR 体験の実用化に不可欠な研究である。

これまでの VR 酔いに関する研究では、バクションに伴う VR 酔いの影響を低減するために、速度低下錯視[2]や頭部の動きに連動した固定格子を表示する[3]などが提案されている。いずれも視覚情報を出発点にした方法である。本研究では、そのような VR 酔いをコントロールするために必要となる、簡単に誰もが VR 酔いを感じる刺激、つまり、コンテンツについて提案する。ここでは、そのコンテンツとしてブランコを漕ぐ感覚を与える VR 環境に注目した。先行研究では、ブランコ形状の椅子を用意し、HMD 内の映像としてブランコを漕ぐコンテンツを提示した。このコンテンツによって、体が実際に動いていなくとも、足の接地有無で VR 酔いの感覚が大きく変わることが発見された [4]。ここでは、ブランコに乗る時に足を上げると多くの被験者が強い揺動感覚を感じるが、足を地面に付けると揺動感覚が大幅に軽減する。この揺動感覚の有無が VR 酔いの強さに関係していると考え、まずこの揺動感を体の支持条件でコントロールする研究を進めた。本報告では、複数の体の支え方を条件として主観的な揺動感覚にかかる影響の差を実験によって評価した。

## 2. 実験環境

本実験は仮説として“VR ブランコに乗る時に、体の支持条件によって揺動感覚が変わる”と設定している。そのため、VR ブランコと支持条件の設計が必要となる。

### 2.1 VR ブランコ

先行研究[4]では、図 1 に示すような実際には静止しているブランコ型の VR を設計し、足の接地有無による揺動感覚の違いを検証した。VR ブランコの体験のために、HMD 内で提示される映像として、山中で大きなブランコに乗っているという想定で VR 映像を作成した。このシミュレーションでは完全に受動的な体験であり、実験協力者

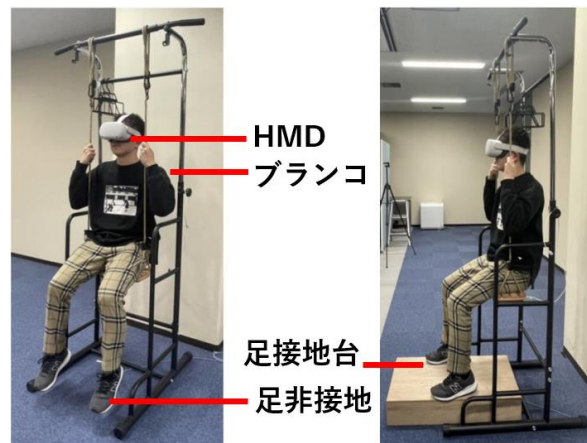


図 1: 先行研究のブランコ

の動作はシミュレーションに全く影響を与えていない。  
 図2は作成したVR映像の一部である。ブランコは剛体振り子として設計されている。VR 上での振り子の位置を図3で説明されており、地上から 25mに回転軸を配置し、その回転軸から長さ 15m の振り子の剛体リンクを設定している。

実世界でのブランコは、より大きなスペースとより能動的な実験環境を作るために、市販のブランコフレームに自作のブランコ椅子を装着した。椅子は木の板に二つの穴を開いて一本の縄で吊り下げたものである。外観を図4のように示す。腰板の左右方向の軸では自由に回転するため、実際のブランコに比べて足を上げた際の安定性は低下している。

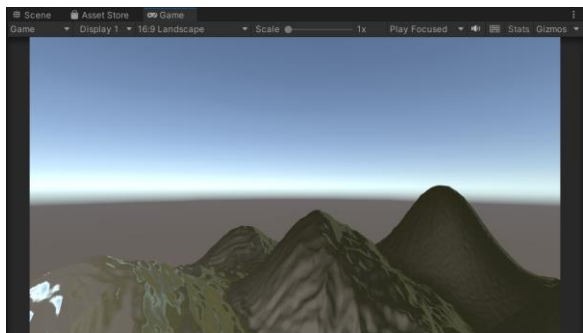


図 2: VR 空間内の風景

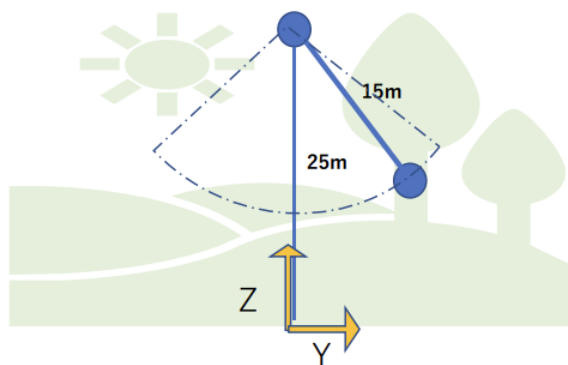


図 3: VR ブランコのカメラ運動



図 4: ブランコ外観

## 2.2 体の支持条件

先行研究[4]において揺動感覚が足の接地有無によって体の支持条件が変化したことを考えたが、足が接地した状態より不安定な支持条件によって揺動感覚を発現する可能性があると考えた。先行研究で検討した「足非接地」と「足接地」による体の支持状態以外に、図5に示すように手で「杖」、「横の手すり」、「縦の棒」を保持して体を支持する条件をとする3種類の体の支持条件を追加した。「杖」、「横の手すり」と「縦の棒」条件では足は接地していない状態にした。

杖は市販の一般的な歩行用杖であり、上部のグリップを水平に握って体を支えるが、地面と杖の接点は点接触の状態である。関連研究では「VR 体験中に杖を提供し平衡感覚を取る」との報告がある[5]。このことから、体験中に手に持つと安定さが上がると予想した。横の手すりは遊園地などのアトラクション設備に使われる安全バーをイメージし、ブランコのフレームに横で固定した手すりである。縦の棒は上下を床と天井に固定している、動かない縦棒である。横棒と縦棒による支え方の違いを比較ため設置した。

## 3. 実験1：支持条件による揺動感覚の評価

前述の体の支持条件による揺動感覚の強度を評価した。

### 3.1 実験内容

本実験は「実験協力者の人数や年齢を記載」イベントでの公開展示に参加者または保護者の同意上で行った。ブランコで「足上げ」、「足下げ」、「杖」、「横の手すり」と「縦の棒」の五つの支持条件で参加者にVR ブランコを体験させた後、表1のようなアンケートで主観的な揺動感を収集した。

表 1: 表のキャプションは表の上に置く

Q1.体験したものを選んでください  
 ・杖 ・横の手すり ・縦の棒

Q2.普段は乗り物酔いしますか  
 ・はい ・いいえ

Q3.次の中に、揺れを感じた順で1から順番を付けてください  
 体験していない物は空欄にしてください

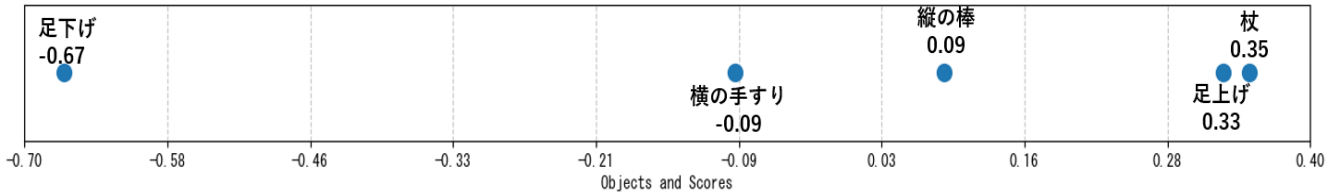
足上げ	足下げ	杖	横の手すり	縦の棒

Q4.年齢を教えてください  
 \_\_\_\_\_歳

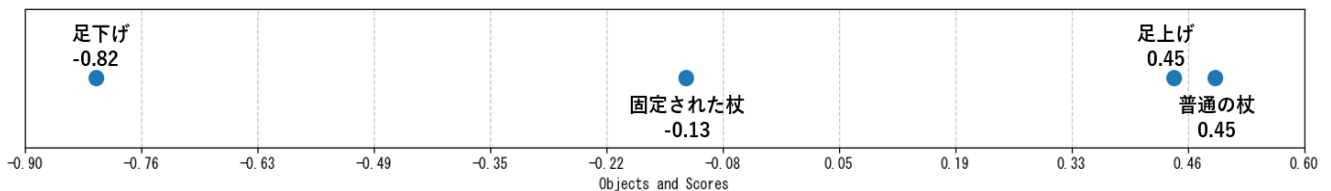
参加者全員がすべての支持条件を体験ではなく、「足上げ」と「足下げ」は必須として、「杖」、「横の手すり」と「縦の棒」の中に自分の判断で選んで体験した。次に、参加者は足を上げてから選択した支持条件を体験した。参加者はブランコを乗せてからHMDをつける。足を上げてから参加者が選んだ支持条件を体験させた。支持条件の提示順はランダムにした。最後に参加者はアンケートで揺動感覚の強い順を回答した。



図 5: 五つの乗り方



(a)実験 1 の一対比較結果



(b) 実験 2 の一対比較結果

図 6: 実験の一対比較結果

### 3.2 評価方法

参加者全員がすべての支持条件を体験していないため、五つの条件の体験回数が異なっている。より客観的に比較するため、アンケートで取った揺動感の順位を、各条件間での強度の強さとしてみなして、回答を一対比較した。この結果を元にサーストーン一対比較で強度の主観評価結果を分析した。さらに分析結果から得られる各支持条件の Z スコアを、その条件のパフォーマンスの単位として示した。最後に、支持条件平均 Z スコアを計算し、そのスコアを使用して揺動感に関する主観評価の強度の指標として分析した。

### 3.3 結果と考察

実験協力者から得られた回答が 114 件のアンケートとなった。その中で順番の付け方を誤解した無効アンケートを排除した後、91 件の有効アンケートを得た。

分析したデータを図 6(a)に提示する。まず、先行研究と同じく、プランコを体験する時に足の接地によって揺動感が大きく軽減できることを再度検証した。一方で三つの支持条件では揺動感の感じ方が大きく変化した。最も揺動感が強いのは接地面が自由に動く「杖」条件であった。ただし、「足上げ」条件と差は小さかった。実験中にも参加者の方から「杖はすごく揺れる」という感想を得た。杖は地面に固定されていないため、簡単に揺れることが一員と考えられる。これは足が非接地の状態時に杖一本でバランスを取ることが難しいと考えられる。一方、「縦の棒」、「横



図 7: 固定された杖

の手摺り」条件は揺動感覚が大きく軽減された。いずれも地面に固定された支持方法であることに起因すると考える。これを実証するために、「縦の棒」と「杖」条件では支持物を握る方向の問題ではなく、体の支えとしての安定性が要因であることを実証する実験を計画した。

## 4. 実験 2 : 杖の固定方による揺動感覚の差の評価

実験 1 では、「杖」で支える時の揺動感覚が単に足を上げたままの揺動感覚とほぼ同じ程度であった。それは「杖を持つと安定さがる」という仮説と反する。その原因を検証した。杖の地面との接点が小さく自由度が大きくなるために安定性が減り、揺動感が大きくなると考えた。つまり「杖」の自由度を下げて、支点を大きくしたら安定



さが上がると考え、図7のように普通の杖を行列整理のポールに固定して、握り部分は通常の杖ながら、体の支持安定性の高い「固定された杖」を作った。

#### 4.1 実験内容

杖の差だけを検証するため、「足上げ」「足下げ」「普通の杖」「固定された杖」のみで実験を行った。参加者に心理的な誘導を与えないように、「普通の杖」は「杖1」,「固定された杖」は「杖2」であることを実験協力者に説明した。実験1と同様に、得られた揺動感の強さの順番に関するアンケート結果をサーストニー対比較で分析した。

#### 4.2 結果と考察

実験協力者は、18歳から21歳の計45名であった。先の実験と同様に行った分析結果は図6(b)に示す。これまでの実験同様に、足を下げた状態が最も揺動感が低く、「普通の杖」条件が最も揺動感が強かった。「固定された杖」条件では足を地面につけて「足下げ」条件よりも揺動感覚が大きい、「普通の杖」条件より大幅に安定していると考えられる。

二回の実験結果を通して考察すると、杖に関しては同じ握り手でありながら揺動感が大きく変化し、安定感の増している「固定された杖」条件では、「普通の杖」よりも揺動感覚が小さく感じられた。これは杖のグリップの形状よりも、支持方法自体が固定された杖に制限されたことが要因と考えられる。通常の不安定な「杖」条件では、「足を上げ」条件との差は小さい。つまり、ブランコ型のVRコンテンツから見ると、「普通の杖」では揺動感覚に大きな影響を与えないと考えられる。

これらの実験結果から、VRブランコに乗る時に、体の支持方法、あるいは、安定の程度を変化させることで異なるレベルの揺動感覚を意図的に引き出すことが可能と考えられる。

## 5. おわりに

本研究は、先行研究で発見された誰でも簡単に強く揺動感覚を感じるブランコ型VRにおいて、異なる揺動感覚を生み出す支持方法を評価した。実験では、通常の「杖」で支える時に揺動感覚が強い原因についても検討した。

今回の実験1は公開展示の中で実施されたため、「横の手すり」条件を体験した被験者は比較的少なかった。実験終了後、複数の人に横の手すりを体験させて感想を聞いたところ、「手すりの方がかなり揺れる」という実験結果と一致しないコメントもあった。横の手すりはアトラクションの安全バーを想定して作ったもので、安定性が高いと予想したが、そのような感覚を引き起こした理由についても検討する。

レベルの異なる揺動感覚を制御できるならば、揺動感覚とVR酔いの関係性についても検討できるようになる。も

ろん現段階ではVR酔いではなく、揺動感の評価に留まっており、この揺動感とVR酔いの関連性についても研究が必要である。その上で、今後はこの揺動感の差異をもたらした人間の揺動感の認識モデルの構築し、制御性を高めていく。さらに、本実験では揺動感の収集に主観的なアンケートを用いたが、これを客観的な体動などの計測可能なパラメータで評価する方法も検討する。VRブランコでは多くの被験者が同様の揺動感を得る回答を示しているため、その状態を客観的に評価する行動の分析も可能となる。微妙な体動などで揺動感のレベルを客観的に計測できれば、本来の目的であるVR酔いの分析ツールとして有効な手段となる。これらの研究を進めることで、VR酔いをコントロールできるコンテンツの作成が可能となる。

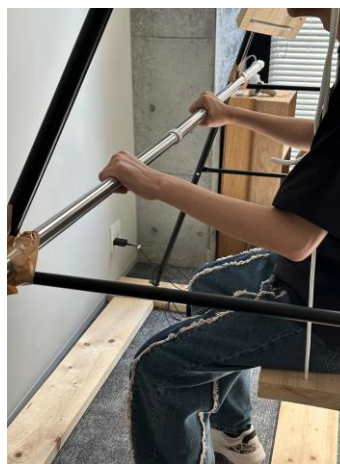


図9: 横の手すりを体験中の様子

## 参考文献

- [1] LaViola, J. J.: A Discussion of Cybersickness in Virtual Environments, SIGCHI Bull., Vol. 32, No. 1, pp. 47-56, 2000.
- [2] 笹山琴由, et al.: 速度低下錯視を用いたVR酔いの低減手法, 研究報告数理モデル化と問題解決 (MPS), Vol. 2020.11, pp. 1-6, 2020.
- [3] 上木諭, et al.: 車椅子シミュレータにおけるVR酔い軽減手法の検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 27, No. 4, pp. 425-433, 2022.
- [4] 潘虹羽, 土橋嬉真花, 安藤潤人, 野間春生: 足の接地がブランコ型VRでの揺動感に与える影響の検討, 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 47, No. 35, pp. 33-36, 2023.
- [5] 法月ロイ: VR酔い・平衡障害をVRで鍛える, バーチャル学会発表概要集 バーチャル学会, バーチャル学会運営委員会, pp. 19-20, 2022.