



異なるブランコでの不安定ブランコ現象 の揺動感覚の関係性検証

Unstable Swing Phenomenon: Investigating the Sensation of Swaying Across Different Swings

任 靖昕¹⁾, 段 天洋²⁾, 安藤 潤人²⁾, 野間 春生²⁾

REN Jingxin, Duan Tianyang, Mitsuhiro ANDO and Haruo NOMA

1) 立命館大学 情報理工学研究科 2) 立命館大学 情報理工学部

(〒567-8570 大阪府茨木市岩倉町 2-150, gr0759re@ed.ritsumeit.ac.jp)

概要: 物理的に静止したブランコに座った状態で仮想ブランコシーンを体験する際に、足を上げることで揺動感覚が強まる現象が観察された。これを「不安定ブランコ現象」と名付け、その要因としてリアルと仮想のブランコの高さなどの物理パラメータの不一致が影響すると考えた。そこで本研究では、高さ 1.5m および 13m のリアルブランコを製作し、それに対応する高さの仮想ブランコシーンをを用いて、揺動感覚の変化をアンケート形式で評価した。分析の結果、パラメータの不一致よりもリアルブランコの高さの違いが揺動感覚に与える影響が大きいことが示された。

キーワード: 不安定ブランコ現象, 揺動感覚, 自己運動感覚, ベクシオン

1. はじめに

近年、仮想現実(バーチャルリアリティ、VR)技術は、医療、教育、エンターテインメントなど様々な分野で活用されている。VR は、人の両眼視差をコンピューターで再現することにより立体的な映像を生成し、使用者に多彩な体験を与える。しかし、VR を体験する際、一部のユーザーが VR 酔いなどの不快感を感じることがある。このような不快感が発生する原因が主に目がうけた視覚情報と身体感覚の間に生じる不一致であると考えられている。この要因を検証するには視覚情報と身体感覚から構成される仮想空間の認識過程をモデル化する必要がある。その一つの方法として、これらの不一致から生ずる感覚の誤差を分析して事例を積み重ねていかなければならない。

我々は一つの事例として仮想ブランコを対象とした研究を進めている。先行研究では自己運動感覚に着目しブランコを用いて実験をした[1]。体験者をリアルブランコに座らせ仮想ブランコ映像を提示すると(図1)、実際には身体が動いていないにもかかわらず、足を上げると視覚刺激によって揺れている感覚が強化される現象が観察された。本研究ではこの揺れている感覚を「揺動感覚」と呼び、この現象を「不安定ブランコ現象」と呼ぶ。本研究は不安定ブランコ現象の要因を解明し、VR 酔いを制御するモデルの作成を目指している。

まず、不安定ブランコ現象の要因の一つとして、視覚と身体

感覚のズレが錯覚を増強していると考えられている。先行研究では VR シーンの種類や視点の高さを変えて、不安定ブランコ現象で感じる揺動感覚の強さを検証した[2]。実験では 1.5m のリアルブランコに座って 25m から 10m ずつ VR ブランコシーンの視点を高めて感じる揺動感覚の強さを調査した。その結果、一番高い視点での体験がより強い揺動感覚を生ずることが観察された。この観察結果の要因の一つとしてリアルブランコと仮想ブランコシーンにおけるブランコの高さなどの物理パラメータの差によって、視覚を通じて得られる感覚と身体感覚とのあいだにズレが生じ、感覚の乖離を引き起こすと推測される。



図 1 : 実験の様子

これらの観察結果から本研究では以下の仮説を唱える。

“リアルブランコの物理パラメータと体験する仮想ブランコシーンの物理パラメータの間に大きな差がある場合、認知の不一致によるより大きな揺動感覚が発生する”

この仮説を検証するために、各条件を設置し揺動感覚に与える影響を評価する実験を行った。

2. 実験方法

本研究では、不安定ブランコ現象の要因を探るために、リアルブランコと仮想ブランコシーンの物理パラメータの一致または不一致を条件として、参加者が感じる揺動感覚の大きさへの影響について比較実験を実施した。参加者は 1.5m または 13m のリアルブランコに座らせて、対応する 1.5m または 13m の仮想ブランコ映像を VR 上で体験させた。各条件では、足を地面につけた状態と足を上げた状態で一定時間の体験を提示した。体験後には、揺動感覚の強さと不快感の有無などの感覚について主観評価を実施し、物理パラメータや体験順序との関係を分析した。

2.1 使用装置

実験には、物理的に長さが 1.5m および 13m の 2 種類のブランコ(図 2)を使用した。対応する仮想環境として、それぞれ同じ長さを持つ VR ブランコにシーンを設計し、Meta Quest 2 (Meta 社製スタンドアロン型 HMD)を用いて提示した。VR シーンは Unity を用いて独自に開発したものであり、ユーザー視点から見る VR ブランコ画面構成を図 3 に示す。



1.5m のリアルブランコ



13m のリアルブランコ

図 2: 長さが 1.5m と 13m のリアルブランコ



図 3: ユーザー視点から見る VR ブランコ画面

2.2 実験参加者

本実験は VR ブランコ体験イベントとして実施し、総計 186 名(男性 73 名、女性 113 名)の参加者が含まれた。参加者の年齢範囲は 4 歳から 86 歳であり、幅広い年齢層を対象としてアンケート形式でデータを収集した。

2.3 実験手順

本実験は午前と午後の 2 セッションに分けて実施された。いずれのセッションにおいて参加者はいずれかのブランコに着席した状態で、対応する仮想ブランコ映像を Meta Quest 2 を用いて体験した。各条件では、最初の 10 秒間が足を地面につけた状態で、続く 10 秒間が足上げ状態で体験させた。

条件 1 として、参加者を長さが 1.5m のリアルブランコに着席させ、VR 内で 1.5m の仮想ブランコシーンを提示する。参加者を 20 秒間(着地 10 秒後足上げ 10 秒)体験させた後、VR 内のブランコシーンを 13m に切り替え、同様に 20 秒間(着地 10 秒後足上げ 10 秒)体験させた。条件 2 として、参加者を長さが 13m のリアルブランコに着席させ、VR 内で 13m の仮想ブランコシーンを提示する。参加者を条件 1 と同じく 20 秒間体験させた後、VR 内のブランコシーンを 1.5m に切り替え、同様に 20 秒間体験させた。

各条件の体験時間は計 40 秒であり、一つの条件の実験時間は約 1 分となる。午前の被験者には、条件 1 から条件 2 の順に体験させた。午後はこの順序を逆にし、条件 2 から条件 1 の順に体験させた。各セッション体験後、揺動感覚や不快感に関するアンケート評価を実施した。

2.4 評価方法

各体験後、参加者にはアンケート形式で主観的评价を実施した。アンケートの質問項目は、体験後酔い感覚の有無、足上げによる揺動感覚の変化、物理的に長さが 1.5m のブランコで感じる揺動感と物理的に長さが 13m のブランコで感じる揺動感の 4 項目で構成されており、感じた揺動感覚の大きさを 4 段階の主観評価(「まったくない」「やや感じた」「普通に感じた」「強く感じた」)により回答を求めた。そして、任意で自由記述欄も用意し、体験直後の感覚や印象について記述してもらった。また、基本情報として年齢、性別、日常的な乗り物酔いの有無についても回答を求めた。

3. 実験結果と考察

3.1 ブランコの物理パラメータと揺動感覚の関係性比較

本分析では、午前・午後の全データのうち、年齢が 7 歳以上 86 歳以下の 156 名のデータを対象とした。

6 歳以下の参加者に関しては、アンケートの自由記述欄に「ブランコが高くなった」と記載するケースが複数見られ、その多くが揺動感覚の評価で「まったく感じない」または「やや感じた」を選択していた。これは子供におけるブランコ運動の理解や視覚発達の未熟さが原因の可能性もある。過去の研究によると、人の両眼立体視の完成時期はおおよそ 5 歳前後とされており、この時期以前の子供は VR 体験中に両眼視差に起因する奥行き感に伴って、前後方向の動きを十分に知覚できないとされている[3]。その結果、ブランコの前後運動を上下方向

の動きと誤認し、「ブランコが高くなった」と表現した可能性が考えられる。このような視覚的知覚のずれは評価に大きな誤差をもたらす恐れがあるため、本実験では6歳以下のデータを分析対象から除外した。

6歳以下を除外した156名の回答の割合を帯グラフの形式で図4に示す。被験者の主観評価によると、「まったく揺動感を感じなかった」と回答した割合は両条件ともに約3%だった。ほとんどの参加者が一定の揺動感を知覚していた。特に、足を上げた時により揺動感を感じた人の合計は、リアル長さが1.5mのブランコで約72%、13mのブランコで約87%となる。また、「強く感じた」と回答した参加者の割合は、リアル長さが13mのブランコに座った場合が1.5mのブランコに座った場合よりも約20%多い。このデータから見ると、リアル長さが13mのブランコに座って仮想ブランコシーンを体験する場合、揺動感を強く感じたという回答が多い。本データをもとに、各長さの実在するブランコに着席して仮想ブランコシーンを体験した際に得られた揺動感覚の主観評価に統計的な差があるかを検定した。ウィルコクソン符号付き順位検定では、得られたp値は0.00015である。この結果から、リアル長さが1.5mのブランコと13mのブランコの間に仮想ブランコシーン体験時の揺動感覚の評価において有意な差があることが示された。具体的には、リアル長さが13mのブランコのほうが仮想ブランコシーン体験時の揺動感覚が強く評価されることが読み取れる。

つまり、各ブランコの物理パラメータを一致または不一致にすることで参加者が感じる揺動感覚の大きさに変化が起きたが、リアル長さが13mのブランコに座って同じく13mの仮想ブランコシーンを体験するときに一番大きい揺動感覚を感じたことが観察された。したがって、実在するブランコの物理パラメータは仮想ブランコシーン体験時における揺動感覚に影響を与える可能性を示唆している。一方で、得られた結果はブランコの長さによって姿勢の安定性や足の接地状況が変化し、それが揺動感覚の強度に差を生じさせた可能性も示している。実験の状況によると、13mのリアルブランコはひもの安定性が1.5mのブランコより低く、ブランコ自体の揺れが強いである。また、体験者の体重による座面の傾きが大きく、コントロールするのが難しいと観察された。これが体験者に大きな揺れを連想さ

せる視覚的要素と、身体の揺れが体験者に大きな不安定感を与えてより強い揺動感覚を生じさせた可能性がある。

3.2 年代別感じる揺動感覚の大きさの違い

次に、被験者の年代ごとに揺動感覚の回答結果を分析した。実験中子供や青少年層の参加者は、VRブランコ体験に対して体験中に大きな声を上げたり、「すごく強い揺れを感じた」などの感想が多く寄せられ、顕著な身体反応や言語的リアクションを示すことが見られた。一方で、中年層の参加者は、揺動感覚自体は報告されたものの、身体、感情的な表現は比較的控えめであった。「あまり強い揺れを感じなかった」といった感想も複数確認された。この観察結果を踏まえ、年齢層を分けて集めた各条件で感じる揺動感覚の強さを比較した。

まずはリアルブランコの大きさによる各段階評価の分布について各年代別内の割合を図5、6に示す。ここでは、参加者数が比較的多かった青少年層を代表する10代のグループと、中年層を代表する40代のグループを対象とした。それぞれのリアルブランコに着席して仮想ブランコシーンを体験するときに得られた揺動感覚の主観評価を集計し、統計的に有意な差があるかを分析した。

まず10代では、「まったく感じない」と回答した者はおらず、全体的に揺動感覚が強く知覚されていた。特に、「強く感じた」

アンケート数: 35 名

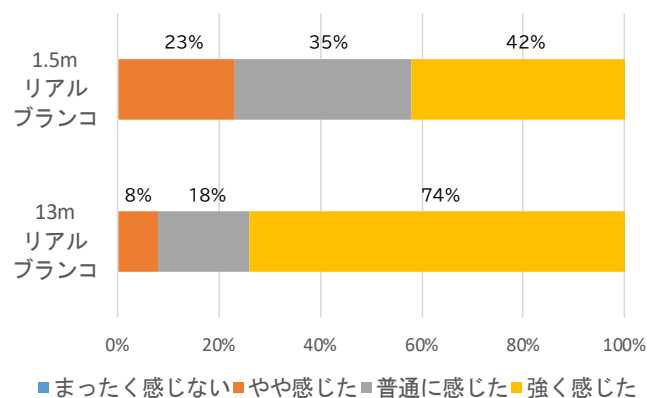


図 5: 10 代の揺動感覚の回答結果

アンケート数: 156 名

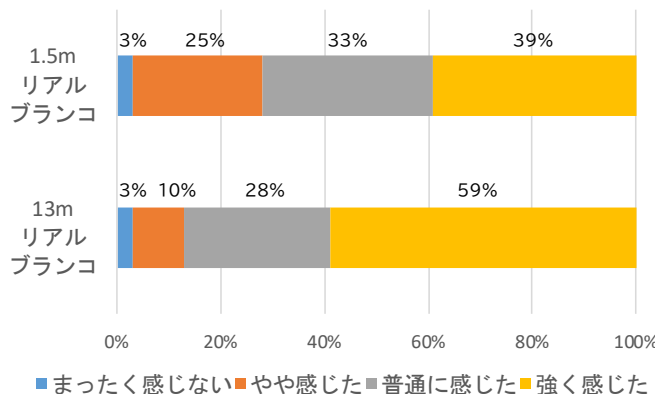


図 4: 7 歳以上の揺動感覚の回答結果

アンケート数: 42 名

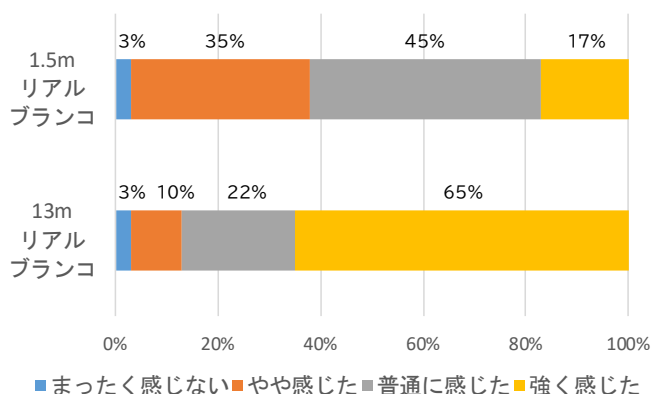


図 6: 40 代の揺動感覚の回答結果



前傾姿勢



直立姿勢



後傾姿勢

図 7: リアルブランコに座るときの姿勢の違い

と回答した割合は、長さが 1.5m のリアルブランコで 42%、13m のリアルブランコでは 74%である。統計的検定の結果、得られた p 値は 0.0059 であり、有意差があることが示された。40 代でも同様の傾向が確認され、長さが 1.5m のリアルブランコで「強く感じた」が 17%、長さが 13m のリアルブランコでは 65%と差が見られた。統計的検定の結果、得られた p 値は 0.00038 であり、有意差があることが示された。

結果から見ると、10 代の参加者は全体的に揺動感を強く感じた割合が 40 代より多い。特に 1.5m のリアルブランコで仮想ブランコシーンを体験する場合強い揺れを感じた割合が 40 代より遥かに上回った。また、10 代では「まったく感じない」という回答はなく、「やや感じた」の割合も 40 代より低い。そして、13m のリアルブランコでは 10 代と 40 代が大きな割合の差がなかった。実験の様子を振り返ると、40 代の体験者は 10 代に比べて、平均的に身長や体重が大きく、ブランコに座って足を上げる際には、10 代よりも足の上がり幅が小さいケースが多く見られた。また、40 代の体験者には保護者として参加している人も多く、バックパックを背負ったまま体験している例も少なかった。これらの要因が着座姿勢に影響を及ぼし、実験結果に誤差を生じさせる可能性がある。今後の実験では、体験時の姿勢や装着物など、身体条件の違いも考慮する必要である。

3.3 実験の不足点

本実験はブランコ体験イベントの中で実施したことから、いくつかの不足する部分が生じた。まず、被験者の座り方の統制が不十分であり、中央に直立して座る以外に前や後ろに傾いた姿勢で座る参加者もいた(図 7)。このような身体姿勢の違いはブランコの揺れ方や揺動感覚の知覚に影響を及ぼす可能性がある。また、13m のリアルブランコに使用したひもは体重によって長さが変化しやすいため、1.5m のブランコと比較してより不安定であったから、この不安定性が揺動感に影響を与えた可能性がある。今後は伸びにくい素材の採用して追実験する。加えて、アンケートでは「小さな(大きな)ブランコで揺動感を感じましたか」という形式で質問を行ったが、実際の体験では 1 台のブランコに座ったままシーンのみを切り替えていたため、質問文の意図が伝わりにくく、回答解釈に個人差が生じた可能性がある。今後は、設問文や説明内容を再検討し、実験の流れや質問内容をより明確に整える必要がある。

4. むすび

実験結果から、リアルブランコの高さが高いほど、仮想ブランコシーン体験時により強い揺動感覚が引き起こされることが明らかとなった。本実験では装置の構造や調査手法にいくつかの制約もあり、「リアルブランコと仮想ブランコシーンの物理パラメータに大きな差がある場合、認知の不一致によってより強い揺動感覚が生じる」という仮説を十分に検証するには至らなかった。また、13m のブランコ条件では揺動感覚が最も強く評価され、年齢によって体験の強さにも差が見られた。これにより、物理的な条件や年齢が揺動感覚に影響する可能性が示唆された。今後は揺動感覚を数値化、定量化できる手法を導入し、客観的に揺動感覚の変化を分析する。体験者の身体的特徴や姿勢、各ブランコ長における足上げ動作の違いなどを体系的に整理することで、不安定ブランコ現象に影響を与える要因の特定が可能になると考える。これらの取り組みを揺動感覚のモデル化に向けた基礎的な知見として蓄積していく。

参考文献

- [1] 潘 虹羽, 安藤 潤人, 李 亮, 野間 春生. 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. 第 29 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2024.
- [2] 段 天洋, 潘 虹羽, 安藤潤人, 野間春生. 不安定ブランコ現象: VR 環境におけるシーン 依存の揺動感の分析. 電子情報通信学会技術研究報告ヒューマンコミュニケーション基礎, pp. 72 - 77, 2025.
- [3] Sherry L Fawcett, Yi-Zhong Wang, Eileen E Birch. The critical period for susceptibility of human stereopsis. Invest Ophthalmol Vis Sci, 46(2):pp.521-525, 2005.
- [4] Kyungmin Lim, Jaesung Lee, Kwanghyun Won, Nupur Kala, Tammy Lee. A novel method for VR sickness reduction based on dynamic field of view processing. Virtual Reality, 25:331-340, 2021.
- [5] Hao Chen, Rongkai Shi, Diego Monteiro, Nilufar Baghaei, Hai-Ning Liang. VR Cockpit: Mitigating Simulator Sickness in VR Game Using Multiple Egocentric 2D View Frames. IEEE CoG, 2022.
- [6] 田中稜太郎, 福嶋政期, ハウタサーリアリ, 苗村健. VR 酔いを軽減するための周辺視野 コントラスト低減手法の提案. 第 27 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2022.