

加速錯覚：身体支持感覚の消失が主観的速度知覚に及ぼす影響

段 天洋^{†1} 任 靖昕^{†2} 安藤 潤人^{†1} 野間 春生^{†1}

概要：本研究では、先行研究の「不安定ブランコ現象」から、身体支持感覚の変化がベクシオン強度、特に視覚的光流の主観的速度知覚に及ぼす影響を、VRとスクリーン環境下で定量的に検証した。予備実験において、ブランコ着座者が足を上げた瞬間に、光環映像の速度が主観的に速く感じられる錯覚現象を発見した。VRおよびスクリーン環境の両方で行った実験の結果、いずれでも足を上げた際に速度変化を知覚することが確認された。特にVR条件で高い知覚率（VR：11名、スクリーン：9名）が示された。また、加速の知覚タイプは「瞬間的」と「持続的」な速度上昇に分類された。この結果は、足裏支持感覚の消失が自己位置感覚の信頼性を低下させ、視覚情報への依存度を高める。ベクシオンを介した速度知覚を強調した可能性を示唆する。また、VRでの高い知覚率は、広い視野角/没入感が身体支持感覚の変化と相互作用し、速度知覚の変調を増幅させたことも示唆する。本研究は、自己運動知覚における視覚と体性感覚の統合メカニズム理解に重要な知見を提供する。



図1 光環トンネル映像



図2 ブランコ装置



図3 スクリーン条件環境

1. はじめに

我々の先行研究において、「不安定ブランコ現象」という興味深い現象が発見された[1]。これは、ブランコ状の椅子に座りながらブランコのVR映像を体験する際、足を地面から浮かせた瞬間に、身体が静止しているにもかかわらず強い揺動感を知覚する現象である。この現象は百名規模の実験で確認され、足の接地状態の変化が瞬時に揺動感の知覚に影響を与えることが示されていた[2]。

この「不安定ブランコ現象」は、ベクシオン（vection）、すなわち「静止している観測者が、環境運動の提示により自分が動いていると錯覚する現象」[3]に関連するものと考えられる。既存研究では、多種類の感覚情報がベクシオンを誘発することが示されている[4]。多くの結論では、視覚情報と運動知覚が不一致の条件下では、視覚情報によって引き起こされるベクシオンが自己運動知覚よりも優勢となることが多く指摘されている[5]。特に、周辺視野情報はベクシオンの発生において主要な役割を果たすとされている[6]。本研究は主にこの視覚ベクシオン（以下、ベクシオン）によって誘発される現象を検討する。

我々は「不安定ブランコ現象」もベクシオンの一種であると考えている。この研究の中で、ブランコに乗って典型的な光環トンネル(図1)を体験する際に、足を上げると光環

が加速する現象を発見した。そこで本研究は、「足を地面につけた状態から持ち上げた接地感の消失の瞬間に、視覚的光流の主観的速度が速く知覚される」という現象（加速錯覚）の実在性、およびその要因を明らかにするため、VR環境とスクリーン映像環境を用いた検証を実施した。

2. 実験環境

本実験の提示環境は、ブランコ装置(図2)に加え、100インチスクリーン(図3)およびHMD(Meta Quest 2)の2条件で構成した。これら2つの条件を比較する目的は、視野角がほぼ同等である条件下において、現実空間の遮蔽性の差が「加速錯覚」の生起率や持続時間に与える影響を検

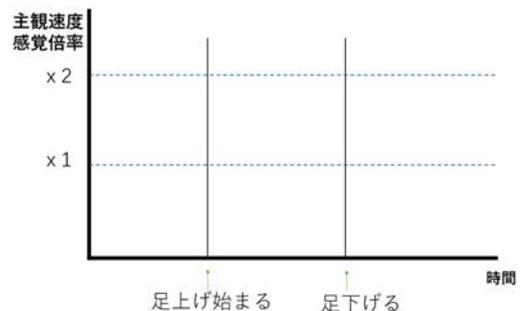


図4 速度変化の曲線記入シート

^{†1} 立命館大学 情報理工学部

^{†2} 立命館大学 情報理工研究科

証するためである。これにより、自己運動知覚における視覚情報への依存度が、周囲の現実空間の参照可否によってどのように変調されるかを考察した。

2.1 VR 環境

本環境では、体験者は静止してブランコ装置座面に着座している状態で HMD を装着し、光環が前方から移動する映像を提示する。VR 環境では、HMD (Meta Quest 2) を使用し、その公称視野角 (Nominal FOV) は水平約 90 度、垂直約 93 度程度であった (Meta 社公表値)。この広い視野角により、周辺視野にわたって光流刺激が提示された。

2.2 スクリーン映像環境

本環境では、体験者は静止してブランコ装置座面に着座している状態で、光環が前方から移動する映をスクリーンで提示する。スクリーン映像環境の視野角、スクリーン映像環境では、100 インチスクリーン (サイズ: 2.19×1.25[m]) を用い、被験者の眼から画面までの距離は 1[m] とした。これにより、水平視野角は約 95.2 度となった。

2.3 光環トンネル映像

いずれの条件で使う映像は同じ Unity で作った光環が前方から体験者に向かって等速移動する映像である。光環の直径 2 [m]、奥行き方向に一定間隔 10 [m] で配置された。前行速度は 15 [m/s] とした。

3. 実験方法

まず、被験者は安定した両足着地の状態でブランコ装置に着席する。それぞれの条件で映像を (15 秒間) 提示した後、音による合図で両足を持ち上げ、次の合図で足を下ろす。動作終了後、自身の主観的な体験に基づいて図 4 のシートに記入した。

表の記入に際しては、両足を地面につけた安定状態で提示される光環前進映像を基準速度 (1 倍速: ×1) として想定した。足を持ち上げた状態で提示される映像については、この基準と比較してどの程度速度が変化したと感じられたかを、時間経過に沿って主観的速度変化の曲線として記入させた。本手順は VR 環境とスクリーン環境の両方とも同一とし、各被験者は両条件を実施する。各被験者における

表 1 速度変化知覚統計

提示環境	速度変化知覚者数 [人]	知覚率 [%]
VR 環境 (n=12)	11	91.7%
スクリーン環境 (n=12)	9	75.0%

条件の実施順序ランダム化、順序による影響を抑えるために被験者間でバランスを取った。

4. 結果

速度変化知覚の有無は、被験者が記入した主観的速度変化の曲線に基づき、基準速度 (×1) を超えて 1.1 倍以上の速度上昇を知覚したと判断された者を「速度変化知覚者」として集計した。

4.1 速度変化知覚の有無

光環トンネル映像を用いた実験では、表 1 のように VR 環境およびスクリーン提示環境の両条件で速度変化知覚者 (合計 12 人) が確認された。VR で 11 人、スクリーンで 9 人であり、両環境において速度変化知覚者は存在したものの、VR のほうが速度変化を感じた参加者が多かった。これは、前述した提示環境による没入感の差が、身体支持感覚の消失に伴う速度知覚の変調に影響を与えた可能性を示唆している。

4.2 速度変化の主観的体験のタイプ分布

図 5, 6 に VR 環境およびスクリーン環境における主観的速度曲線を示す。これは全被験者の結果をトレースし、重畳表示している。時間経過の結果から、速度変化を知覚した参加者 (非知覚者および個別の特殊な反応を示した参加者を除く) の体験は、主に二つのタイプに分類された。

A. 順応が遅い

足を上げた後、そのまま速い速度感が継続する。

B. 順応が速い

足を持ち上げた瞬間のみ速度が一時的に速く感じられ、その後元の速度感に戻る。

図 7 に、提示環境ごとの速度変化知覚タイプの内訳を示す。なお、本統計は速度変化を知覚した参加者 (VR 環境:

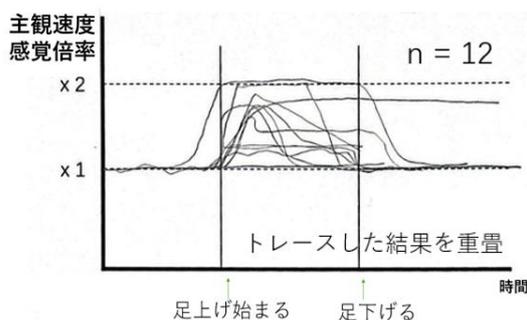


図 5 VR 環境の結果まとめ

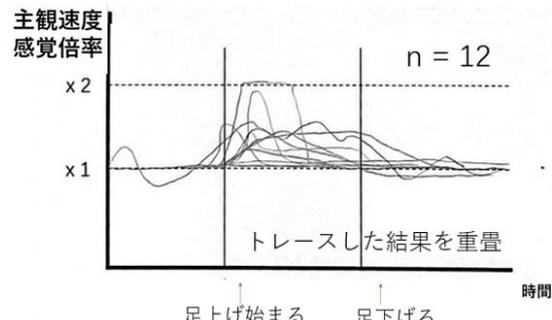


図 6 スクリーン環境の結果まとめ

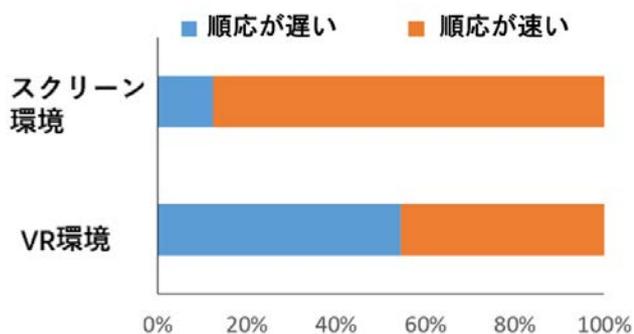


図7 速度変化知覚タイプ人数統計

11名、スクリーン環境：8名)のみを対象としている。VR環境では「順応が速い」タイプが5人、「順応が遅い」タイプが6人となり、両者がほぼ同数であった。一方、スクリーン環境では「順応が速い」タイプが7人と多数を占め、「順応が遅い」タイプは1人であった。特にVR環境では、足を上げた瞬間だけでなく、その後も速度感が継続する(順応が遅い)体験をした参加者の割合がスクリーン環境よりも高い傾向が見られた。

5. 考察

5.1 身体支持感覚と速度知覚の関係

本研究で得られた足を上げた瞬間に速度変化を強く知覚する加速錯覚現象は、現実空間の遮蔽性の異なるいずれの映像提示環境においても確認された。これは、提示環境の差によらず、ブランコの足上げに伴って、ベクションを介した主観的な速度知覚に動的に関係していることを示している。

観測者にとって、足裏の接地は静止かつ安定した自己位置感覚の確固たる身体内部確認されると考えられる[7]。この状態では、体性感覚系が提供する自己運動推定の信頼性が高い、つまり推定誤差の分散が小さい状態にあると考えられる。高橋らは脳は、感覚情報を統合する際、各感覚の相対的な信頼性に応じて重み付けを行うという最尤推定モデル(Maximum Likelihood Estimation: MLE)に基づき知覚を形成すると述べている[8]。この説から本現象について仮説を考察する。

足が接地している状態では、視覚情報よりも相対的に信頼性の高い体性感覚を優先し、視覚情報への依存度を相対的に低下させることで、自己の運動状態の不一致を解消して知覚していると考えられる。足の接地時の体性感覚による視覚優性への抑制メカニズムは、既存研究でも指摘されている「感覚不一致下での視覚情報の支配性」[3]と矛盾するものではない。むしろ、安定した体性感覚が静止信号の高信頼性を提供することで、視覚情報の潜在的な支配力を動的に調節している状態を示している。本研究の「加速錯覚」は、この体性感覚による抑制が解除つまり接地感の消失した結果、視覚情報が持つ本来の運動知覚への強い影

響力が発現したと解釈できる。これにより、外部的光流に対する自己運動知覚の強度が抑制され、ベクションが発生しにくい、あるいは強度が増大しにくいと考えられる。

5.2 「不安定ブランコ現象」との関係

先行研究における「不安定ブランコ現象」は、ブランコ映像に誘発される擬似的な揺動感という定性的な知覚に主に焦点を当ててきた。本研究で示された「足を上げた瞬間に加速して知覚される」という加速錯覚現象は、不安定ブランコ現象において、足の接地感消失に伴って発生する知覚反応であると捉えられる。同時に、この加速錯覚はブランコが漕ぎ出す際の初期加速感と共通する要素を持つことから、揺動感発生の重要な誘因と考える。

6. 結論

本研究は、身体支持感覚の変化がベクションを介した視覚的光流の「加速錯覚」に与える影響を、没入感の異なるVR環境およびスクリーン環境を用いて検証した。主要な知見は以下の通りである。ブランコ装置に着座した状態で、前方に均速移動する光環映像を提示し、被験者が足を地面から持ち上げた瞬間に、光流の速度が主観的に速く知覚されるという「加速錯覚」現象が、VR環境およびスクリーン環境の両方で確認された。

「加速錯覚」を知覚した参加者の割合はVR環境の方が高い傾向にあり、外界から遮断された高い没入感が、身体支持感覚の消失と相まって、速度知覚の変調を増幅させる可能性が示唆された。また、「加速錯覚」の知覚タイプ分布に環境にともなう差が見られた。VR環境では、速度上昇の感覚が足を上げた後も持続する「順応が遅い」タイプが比較的多く見られたのに対し、スクリーン環境では、足上げの瞬間のみ速度が速く感じられる「順応が速い」タイプが多数を占めた。このことは、スクリーン環境では現実空間の遮蔽性の高いVR環境では、視覚情報への依存度の上昇が持続的な効果をもたらすのに対し、現実空間のスクリーン背景という参照枠によって、足上げに伴う支持感覚の消失が制限されたことを示唆している。

本研究の結果は、「足の接地」という身体支持感覚が、自己運動知覚における視覚情報への信頼度を動的にリンクしており、その接地感が消失することで視覚情報の影響が強調され、加速錯覚として現れたことを示唆する。この「加速錯覚」は、先行研究で発見された「不安定ブランコ現象」における、揺動感を構成する速度知覚要素として捉えることができ、今後のVR酔い低減技術や、自己運動知覚メカニズムの解明に貢献する知見である。今後は、この現象を構成要素に分解し、ブランコ映像の複雑な運動成分が揺動感に与える影響を追試的に検証していく。

参考文献

- [1] 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. 信学技報, 124(360), 72-77, HCS2024-78. 2025.

- [2] 任 靖昕, 段 天洋, 安藤 潤人, 野間 春生. 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. 第 30 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2025 年.
- [3] Palmisano, S. , Allison, R. S. , Schira, M. M. , & Barry, R. J. (2015). Future challenges for vection research. *Frontiers in Psychology*, 6.
- [4] 妹尾武治, 「ベクションの多感覚性について——視覚にとどまらないダイナミクス——」, 日本音響学会誌, 76(1), 46-52, 2020.
- [5] 関公一朗, 橋本悠希, 「潜水状態がベクションに与える影響」, 第 29 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2024 年.
- [6] Brandt T, Dichgans J, Koenig E. (1973). Differential effects of central versus peripheral vision on egocentric and exocentric motion perception. *Experimental brain research* 476-491. doi: 10. 1007/BF00234474
- [7] Wang, Y. , Watanabe, K. , & Chen, L. (2016). Effect of plantar cutaneous inputs on center of pressure during quiet stance in older adults. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 14(1), 24-28. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2016.02.001>
- [8] 高橋康介 : 5.8 感覚統合のモデル. 「図説 視覚の事典」, 日本視覚学会 (編) , pp. 244-247, 朝倉書店 2022.