

Nested Moving Room に対する立位姿勢の視覚カップリング¹

畑 美緒¹
三嶋 博之

早稲田大学人間科学研究科
早稲田大学人間科学学術院

“Moving Room” experimental paradigm, in which the surfaces surrounding participants (except for the floor) oscillate back and forth, are insightful in the context of thevection from 1970s. However, the set-up lacked windows, and thereby, the effects of double walls or “Nested Moving Room” on posture maintenance remain unknown. To address this gap, in this study, a virtual reality (VR) technology is used to create an environment composed of rooms with or without windows of different sizes to control the visibility of the outside wall surrounding the room. The results show that room oscillations in the fully closed condition induce strong feelings of self-motion and body sway. This effect is maintained under windowed conditions, but weakened under fully open conditions. Differences in the aperture pattern of the nested room walls are expected to alter the structure of the optical flow. This in turn changes the visual information available for posture maintenance, leading to increased or decreased body sway. In particular, the results suggested that the apertures in the windowed condition provide observers with visual information derived from the occlusion relationships between the interior and exterior of the room, thereby enhancing the dynamic stability of postural control.

Keywords: Moving Room, Vection, Optical Flow.

問題・目的

我々を取り巻く視覚環境は、内側の視覚的情報と外側の視覚情報の入れ子(Nest: 他の構造物が他の構造物にネストされた状態)の構造をしている。そして、入れ子になった環境では、姿勢維持のための情報が完全に閉じた環境と異なる可能性がある。ムービング・ルーム実験では、完全に閉じた囲いが床と独立に動くことで、人間が視覚情報を利用して立位姿勢を制御していること、また、視覚情報が前庭から得られる情報に比較して優位に機能している可能性を示した(Lee & Aronson, 1974)。

ムービング・ルームに「開口」を設置することは、伝統的なムービング・ルーム実験では検討されてこなかった。そこで本研究は、可動性のある部屋だけでなく、さらにその外に可動性のある環境を設定し、その両者を開口で繋ぐ「入れ子状のムービング・ルーム」(Nested Moving Room: NMR)を用いた実験を提案する。新実験パラダイムでは、内側の部屋の動きによって生じる視覚誘導性自己運動感覚(vection)が身体の視覚制御に及ぼす効果だけではなく、部屋の外環境の動きによって生じる自己運動感覚の効果、ならびにそれらの相互作用について検証することが可能となる。部屋とその外環境とを繋ぐ「開口」はその大きさによって機能が異なる可能性がある。したがって開口の様式も検討対象となるだろう。NMRは、実環境での実験構成は困難を極めるが、HMDによるVR環境を使用することで、一定の信頼性と妥当性のある計測が可能であると考えられる。

本研究では、観察者を取り囲む部屋の壁と、さらにその外側の壁からなるNMRをVR環境として構築し、HMDによって呈示する。完全に外環境を遮蔽した条件と、開口の大きさが異なる条件(窓条件・開放条件)で観察者の身体の動揺を計測することにより、それぞれの条件でNMRが生じさせる光学的情報が身体動揺に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

方法

参加者 立位姿勢の維持に問題のない健常な大学生および大学院生26名(男性16名, 女性9名, 無回答1名, Average age = 23.52, SD = 3.31)。

実験材料 VRヘッドマウントディスプレイ・コントローラ(VIVE Pro, HTC 社製), バランスパッド(RIT FIT 社製, 5cm)。

実験要因 実験要因は以下の2つであった(いずれも参加者内要因)。**①開口パタン要因(3水準):** 全遮蔽, 窓, 開放。**②動揺パタン要因(3水準):** 部屋-動揺, 外環境-動揺, 動揺なし。ただし, 全遮蔽条件では部屋の中から外環境が見えないため, 動揺条件の外側条件は存在しなかった。結果として, 全遮蔽条件(部屋-動揺, 動揺なし), 窓条件・開放条件(部屋-動揺, 外環境-動揺, 動揺なし)の計8条件について, 3回ずつ(計24試行)計測された。

Figure 1
Schematic Diagram of Experimental Conditions



実験刺激 横2.0 m×奥行き3.6 m×高さ2.6 mの壁で囲まれた部屋(窓条件には一辺1.0 mの正方形の窓, 開放条件では前面壁が完全に取り除かれた)であり, 部屋の外前方1.2 mには外環境として壁が設置された。部屋の床を除く内側の壁, 外環境の壁にはランダムドットパターンの肌理がつけられた。参加者の観察点は正面にある部屋の壁から1.2 m, 高さは1.6 mとなるように統制された。部屋の壁と外環境の壁を揺らす振幅

と周波数は、参加者4名の事前実験により、振幅：5.0 cm, 周波数：0.2 Hzの正弦波に設定された。

手続き 参加者は、HMDを頭部に装着した。参加者は、HMDに呈示される約40秒の実験刺激を視覚的に観察した。参加者は、試行ごとに「(部屋の)外が揺れている」「内側が揺れている」「自分が揺れている」の3つの観点についてそれぞれ0~100のスケールで主観的に評価し、回答した。一試行ごとに約1分間の休憩をとり、反復測定を試行群ごとに10分間の休憩を設けた。

結果

測定した26名のうち、データ取得に問題があった2名と、身体動揺量が全体平均に対して±3SDを超えていた2名を除き、22名のデータを分析に使用した。身体動揺の評価の指標として頭部の総軌跡長を算出した。主観評価について、参加者ごとに標準得点化した。頭部動揺量と主観得点に対して、非対称的な実験デザインに適した2要因のベイジアン線形混合モデル分析を行った。以下に主要な結果を記載する。

頭部動揺の総軌跡長 全てのモデルパラメータで収束が確認された($\hat{R} < 1.01$)。

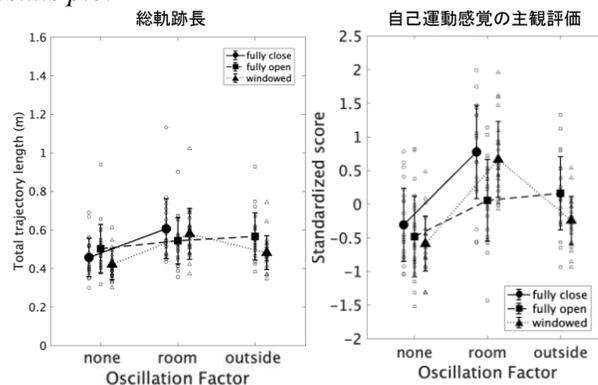
動揺パターン要因ごとに開口パタンの効果を検討したところ、動揺なし条件下では開放条件が窓条件よりも長く($Mdn_{diff} = 0.08$, 95% HPD [0.05, 0.11]), 全遮蔽条件が窓条件よりも長くなった($Mdn_{diff} = 0.04$, 95% HPD [0.01, 0.08])。また、部屋-動揺条件では全遮蔽条件と窓条件で開放条件よりも総軌跡長が長くなった(fully close : $Mdn_{diff} = 0.04$, 95% HPD [0.00, 0.08]; windowed : $Mdn_{diff} = 0.04$, 95% HPD [0.00, 0.07])。また、外環境-動揺条件では、開放条件が窓条件よりも長くなった($Mdn_{diff} = 0.08$, 95% HPD [0.05, 0.12])。開口パターン要因ごとに動揺パタンの効果を検討したところ、全遮蔽条件では、動揺なし条件よりも部屋-動揺条件で総軌跡長が長くなった($Mdn_{diff} = 0.15$, 95% HPD [0.12, 0.18])。同様に窓条件においても部屋-動揺条件は動揺なし条件($Mdn_{diff} = 0.16$, 95% HPD [0.13, 0.19])および外環境-動揺条件($Mdn_{diff} = 0.10$, 95% HPD [0.06, 0.13])よりも長くなった。開放条件においては、部屋-動揺条件($Mdn_{diff} = 0.04$, 95% HPD [0.01, 0.08])と外環境-動揺条件($Mdn_{diff} = 0.07$, 95% HPD [0.03, 0.10])は動揺なし条件よりも総軌跡長が長くなった。

「自分が揺れている」の主観評価得点 全てのモデルパラメータで収束が確認された($\hat{R} < 1.01$)。

動揺パタンの要因ごとの効果については、部屋-動揺条件において、動揺なし条件では、全遮蔽条件が窓条件よりも高い値を示した($Mdn_{diff} = 0.21$, 95% HPD [0.00, 0.43])。また、全遮蔽条件と窓条件が開放条件よりも高い値を示した(fully close : $Mdn_{diff} = 0.43$, 95% HPD [0.18, 0.69]; windowed : $Mdn_{diff} = 0.42$, 95% HPD [0.14, 0.70])。開口パターン要因ごとの動揺パタンの効果では、全遮蔽条件において、部屋-動揺条件が動揺なし条件よりも顕著に高い値を示した($Mdn_{diff} = 0.81$, 95% HPD [0.61, 1.01])。開放条件では、部屋-動揺条件と外環境-動揺条件が動揺なし条件よりも高い値を示した(room : $Mdn_{diff} = 0.58$, 95% HPD [0.33, 0.83];

outside : $Mdn_{diff} = 0.49$, 95% HPD [0.24, 0.75])。また、窓条件において、部屋-動揺条件が動揺なし条件と外環境-動揺条件よりも高い値を示した(none : $Mdn_{diff} = 1.02$, 95% HPD [0.76, 1.27]; outside : $Mdn_{diff} = 0.77$, 95% HPD [0.47, 1.04])。

Figure 2
Results plot



考察

頭部動揺の総軌跡長の分析から、部屋が動揺する条件において、実験参加者の頭部動揺の増加が確認された。部屋-動揺条件における効果の大小関係は「自分が揺れている」と感じる主観評価得点と一致しており、窓条件と全遮蔽条件が開放条件よりも長くなった。これらの結果から、参加者の客観的な頭部動揺量と主観評価得点がよく対応していることが確認された。これは本実験の環境であるNMRの妥当性を支持しているものと考えられる。

また、観察者の前面にある部屋の壁に開口がない、あるいは部分的な開口があってその部屋が動くときに頭部動揺量が大きくなり、部屋の前面の壁が存在せず、部屋の左右や天井の壁のみが動く場合に観察者の動揺がもっとも小さくなった。この結果も、主観的な自己の運動に関する印象の強さとも一致している。

窓条件と開放条件での頭部動揺の総軌跡長に注目すると、部屋が動揺する場合、窓条件が開放条件よりも長く、外環境が動揺する場合は開放条件が窓条件よりも長くなる交互作用が認められた。部屋または外環境の動揺によって起こる視覚誘導性自己運動感覚は、部屋が動揺する場合には窓条件の方が開放条件よりも大きく、外環境が動揺する場合は開放条件の方が窓条件よりも大きいと考えられる。

脚注

¹本研究の成果は「認知科学」にて投稿中であり、本稿はその結果の一部を再解釈したものである。

引用文献

Lee, D. N., & Aronson, E. (1974). Visual proprioceptive control of standing in human infants. *Perception & Psychophysics*, 15, 529-532.