

「VR スウィングルーム」における立位姿勢の視覚制御 Visual control of standing in "VR Swinging Room."

畑 美緒[†], 三嶋 博之[†]
Mio Hata, Hiroyuki Mishima

[†]早稲田大学, [‡]学術振興会
Waseda University, Japan Society for the Promotion of Science
81plus1.30@akane.waseda.jp

概要

本研究は, Lee ら (1974) による「Swinging Room」を VR で再現することで, 呈示する光学的情報を自由に変更しつつ, それらと姿勢制御との関係を詳細に検討することを目的とする. 結果として, 部屋の揺れる幅である Amplitude が実験参加者の姿勢動揺量に影響を与えることが明らかになり, VR swinging room の実験パラダイムが, 現実空間と類似した身体動揺を誘発することが明らかになった.

キーワード: Swinging Room, Virtual Reality, Body Sway

1. はじめに

Lee ら (1974) による「Swinging Room」の実験は, 静止した床と独立して前後に動く部屋の中で立位姿勢を保つように教示された実験参加者の姿勢動揺を観察することにより, ヒトが光学的な情報を利用して立位姿勢を制御していること, また, 光学的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; Lee & Lishman, 1977). しかしながら, そのときに呈示される光学的情報を自由に変更しつつそれらと姿勢制御との関係を詳細に検討することは, 複雑でリッチな情報を持つ現実空間では難しいのが実情である.

バーチャルリアリティ (Virtual Reality: VR) は, 現実空間でのタスクの予備的訓練や, 患者のリハビリテーション, および人間の知覚とパフォーマンスの研究などに活用されている. これら VR の利用を通じて, VR 環境が動作と知覚の相互作用を現実空間とある程度類似したかたちで再現できること, 一方で技術的な理由等による限界もあることが示されてきたが, 立位姿勢の制御を検討するにあたって VR 環境を利用することは一定の有効性をもつと考えられる.

Cunningham ら (2006) は, 広い視野角を持つ VR セットアップにおいて, 仮想の部屋の振動の周波数と振幅の影響を別々に調べる「Swinging Room」の再現実験を行い, 現実空間と VR セットアップが相違ないことを確認した. また, Wodarski ら (2019) によると, HMD 着用時のトレッドミル歩行と通常の歩行の間に

大きな違いがないことがわかった. よって, VR によるシミュレーションは, 歩行パラメータの変化に影響を与えないほど現実的であったと結論付けられるかもしれない.

以上のことから, VR 空間 (HMD) においてもスウィングルームの実験パラダイムは機能し, 現実世界とほぼ同様の計測が可能であると考えられる.

本研究は, VR HMD を利用し, 光学的な肌理の情報が少ない簡素な部屋に対して, 揺れの振幅および周波数を変化させた Swinging Room の実験を行い, 頭部および第二仙骨 (腰部) の動揺を計測する. そして, VR 環境における身体の動揺と同期する振幅および周波数の同定を目的とする.

2. 実験

実験参加者は, 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 4 名 (女性 3 名, 男性 1 名. *Age* = 22.5, *SD* = 0.5) であった. なお, 実験参加者の人数は, *Effect size* = 0.4, *α error prob* = 0/05, *Power* = 0.9 として事前に設計した.

実験材料は, ベースステーション (SteamVR Tracking 2.0), VR ヘッドマウントディスプレイ・コントローラー (VIVE Pro, HTC 社製) であった. 実験参加者は, ヘッドマウントディスプレイを頭部に装着し, コントローラーを上下反転させ腰椎にバンドで固定し, 追跡センサーが仙骨付近に接するように装着した. 実験参加者は, ヘッドマウントディスプレイに呈示される約 30 秒の実験刺激を視覚的に観察した.

実験刺激は横 2 m×奥行 3.6 m×高さ 2.5 m の壁で囲まれた VR 内の部屋であり (図 1), 部屋を揺らす振幅および周波数は, Unity (2021.3.6f1) でプログラムされた. 壁には等間隔でドットの模様が描かれていた. 実験刺激は, 空間を揺らす振幅 (Amplitude) と空間を揺らす周波数 (Frequency) の 2 要因の組み合わせで構成された.

1. Amplitude (cm) 4 水準: 1, 5, 10, 20

2. Frequency (Hz) 5水準 : 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.5
上記要因のランダムな組み合わせでの 20 条件と揺らさない条件を 2 回の計 22 試行をセットとしたものを 1 セクションとして, 2 セクション, 計 44 試行を実施した. 測定項目は, ヘッドマウントディスプレイとコントローラーによる動揺量および角度であった.

図 1 実験刺激

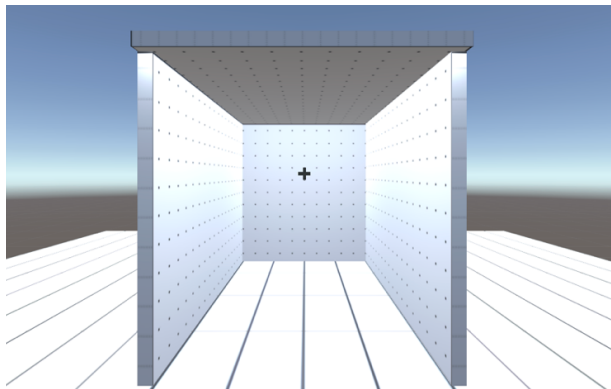
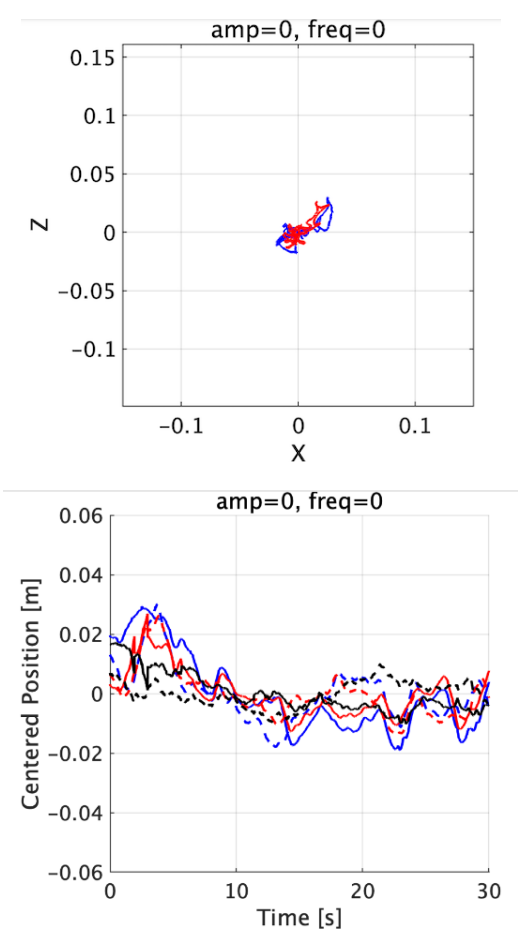


図 2 頭部および腰部の動揺の例



Note. This shows the amount of sway under conditions of Amplitude = 0 and frequency = 0 for subject ID = 1. The blue line indicates head sway, and the red line indicates waist sway.

測定された頭部と腰部の動揺量において, それぞれの 1 試行ごとに平均値を取り, その平均値を (0, 0) とした. 結果として, 1 試行の動揺量は図 2・図 3 のように表せる. この動揺量を元に, 30 秒間の総軌跡長を算出し, 分析に用いた.

3. 結果

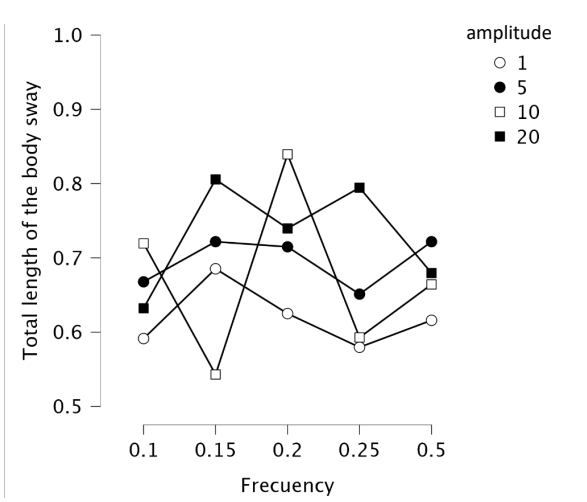
総軌跡長のうち, 最初の 5 秒間をカットオフした頭部総軌跡長と腰部軌跡長において, それぞれ Amplitude と Frequency を要因とする 2 要因分散分析を行った. その結果, 頭部総軌跡長において (表 1・図 3), Amplitude の主効果が有意であった ($F(3, 9) = 7.224, p < .01$). Frequency の主効果 ($F(4, 12) = 0.806, p = .545$) および Amplitude と Frequency 交互作用 ($F(12, 36) = 0.845, p = .606$) は有意ではなかった.

表 1 頭部総軌跡長に対する分散分析

Within Subjects Effects					
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Amplitude	0.130	3	0.043	7.224	0.009
Residuals	0.054	9	0.006		
Frequency	0.065	4	0.016	0.806	0.545
Residuals	0.241	12	0.020		
Amplitude * Frequency	0.282	12	0.023	0.845	0.606
Residuals	1.001	36	0.028		

Note. Type III Sum of Squares

図 3 頭部総軌跡長



主効果が有意であった Amplitude について、下位検定を行った結果 (表 2), Amplitude, 1 cm < 20 cm 条件間で有意であり ($t(3) = -4.526, p < .01$), 1 cm < 5 cm 条件間で有意傾向あった ($t(3) = -3.104, p = .063$).

表 2 主効果 Amplitude に対する下位検定

Post Hoc Comparisons – Amplitude					
		Mean Difference	SE	t	P _{Holm}
1	5	-0.076	0.024	-3.104	0.063
	10	-0.052	0.024	-2.137	0.184
	20	-0.111	0.024	-4.526	0.009
5	10	0.024	0.024	0.967	0.378
	20	-0.035	0.024	-1.422	0.378
10	20	-0.059	0.024	-2.389	0.163

Note. P-value adjusted for comparing a family of 6
Note. Results are averaged over the levels of: Frequency

一方、腰部総軌跡長においては (表 3・図 4), Amplitude の主効果が有意傾向であった ($F(3, 9) = 3.044, p = .085$). Frequency の主効果 ($F(4, 12) = 1.049, p = .422$) および Amplitude と Frequency 交互作用 ($F(12, 36) = 1.349, p = .235$) は有意ではなかった.

表 3 腰部総軌跡長に対する分散分析

Within Subjects Effects					
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Amplitude	1.150	3	0.383	3.044	0.085
Residuals	1.133	9	0.126		
Frequency	0.609	4	0.152	1.049	0.422
Residuals	1.742	12	0.145		
Amplitude *	2.414	12	0.201	1.349	0.235
Frequency					
Residuals	5.368	36	0.149		

Note. Type III Sum of Squares

また、前後方向の動揺量について、頭部と腰部の相互情報量について分析を行った。その結果、いずれの主効果および交互作用も有意ではなかった (表 4・図 5).

図 4 腰部総軌跡長

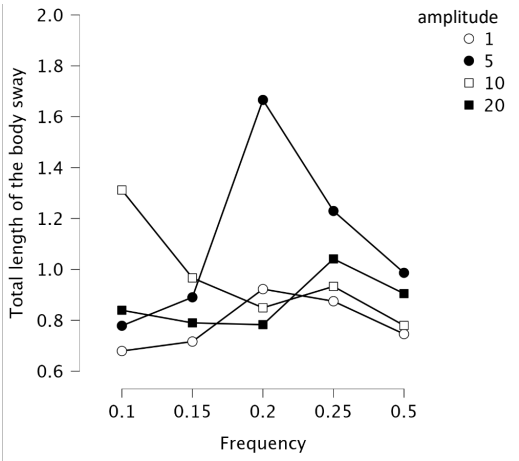
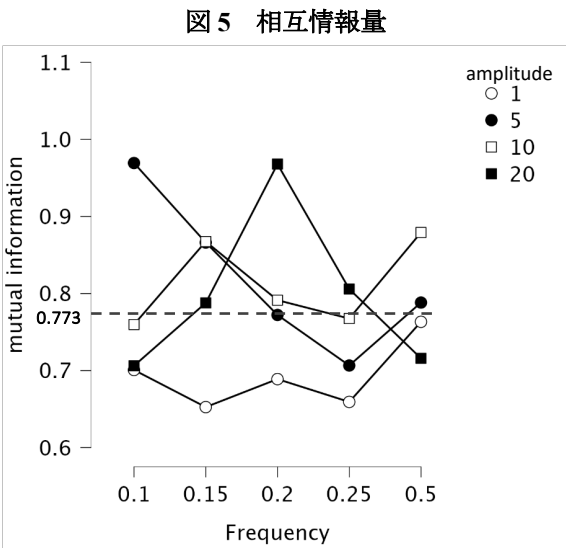


表 4 相互情報量に対する分散分析

Within Subjects Effects					
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
amplitude	0.212	3	0.071	2.374	0.138
Residuals	0.267	9	0.030		
Frequency	0.047	4	0.012	0.547	0.705
Residuals	0.256	12	0.021		
amplitude *	0.375	12	0.031	1.008	0.462
Frequency					
Residuals	1.115	36	0.031		

Note. Type III Sum of Squares



Note. The dotted line shows the average value (0.733) when amplitude = 0 and frequency = 0.

4. 考察

以上の結果より、VRのswinging roomにおいては特に部屋の揺れる幅であるAmplitudeが頭部および腰部の動揺量に影響を与えることが明らかになった。多重比較より、Amplitudeが大きくなるほど総軌跡長が長くなり、動揺が誘発される可能性が示唆された。Amplitudeが大きいとき、部屋全体の前後の揺れの差が大きいくことを意味し、実験参加者に前方の壁がより近づくため、相対的に実験参加者に「圧迫感」を知覚させたと考えられる。その結果として、圧迫感から後ろへのけぞる、あるいは圧迫感からの解放から前方に引っ張られることによって壁の動きに合わせて身体動揺が大きくなり、総軌跡長が長くなる可能性が示唆された。そして、Amplitudeは、近年のswinging room実験のパラダイムでは固定されることが多かった変数の一つであり、再考の余地があるだろう。

一方で、部屋の揺れる振幅であるFrequencyは本実験では動揺量に影響を与えなかった。これは、実験参加者が少ないこと、そして、身体に同期するFrequencyには個人差があることが考えられる。図3～5において、特にFrequency 0.1 Hz条件および0.2 Hz条件において動揺量に影響を与える可能性があるため今後検討する必要があるだろう。

また、相互情報量において、有意な差が認められなかった一方で、値の多くが0.6～1.0の間に分布していたため、ある程度頭部と腰部はお互いに一定の情報を共有していることが明らかになった。これは、今回の実験設定において、頭部と腰部が全く別の動きをしていたわけではないことを意味し、共通の身体を媒介として一本の棒のような形で身体が揺れていたと考えられる。また、基準となる、Amplitude = 0, Frequency = 0と比較して、Amplitude 1 cm条件において超えていないことから、部屋のごく微少な揺れが実験参加者に知覚され、頭部と腰部の揺れをずらすようなはたらきをしていた可能性が示唆された。これによって「完全に停止している部屋」と「微少な揺れが動いている部屋」は人間にとって異なる知覚を与えている可能性があると考えられる。

5. 結論

VR swinging roomにおいても身体の動揺量の違いが認められた。これは、VR swinging roomの実験パラダイムが現実空間と類似した身体の動揺を誘導するだけ

でなく、視覚的情報や聴覚的情報の統制が安易にできることによって、より精緻な知覚と身体動揺の相互作用を明らかにすることが可能になると考えられる。

6. 展望

VR swinging roomの実験のパラダイムは、従来の現実空間における研究における大型の機構を持つ柔軟性が低い点と機械音の課題を解決し、より柔軟かつ臨機応変な実験設定を組むことが可能となると考えられる。たとえば、部屋の大きさ、部屋の模様、部屋のレイアウトなどその設定は多岐に渡るだろう。それらの要因の影響を一つずつ検証することによって、人間がどのような視覚的情報を知覚しそれに適応して行動しているのか、その機序を明らかにすることが可能になるかもしれない。

7. 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 24KJ2113 の助成を受けた研究の一部であり、謝意を表します。

文献

- Cunningham, D. W., Nusseck, H. G., Teufel, H., Wallraven, C., & Bulthoff, H. H. (2006, March). A psychophysical examination of swinging rooms, cylindrical virtual reality setups, and characteristic trajectories. *IEEE Virtual Reality Conference (VR 2006)*, 111-118.
- Lee, D. N., & Aronson, E. (1974). Visual proprioceptive control of standing in human infants. *Perception & Psychophysics*, 15, 529-532.
- Lee, D. N., & Lishman, R. (1977). Visual control of locomotion. *Scandinavian journal of psychology*, 18(1), 224-230.
- Wodarski, P., Jurkojé, J., Bieniek, A., Chrzan, M., Michnik, R., Polechoński, J., & Gzik, M. (2019). The analysis of the influence of virtual reality on parameters of gait on a treadmill according to adjusted and non-adjusted pace of the visual scenery. *In Information Technology in Biomedicine*, 543-553.