



他律的な視方向の回転運動と VR 酔いの関係

Relation between Heteronomous Camera Rotation and VR Sickness

平野翔¹⁾, 木島竜吾²⁾

Sho HIRANO, and Ryugo KIJIMA

1) 岐阜大学 自然科学技術研究科 (〒 501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, b4525083@edu.gifu-u.ac.jp)

2) 岐阜大学 工学部 (〒 501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, kijima@gifu-u.ac.jp)

概要: 現在の HeadMountedDisplay (HMD) では,30 分程度の使用で VR 酔いが生じることが多く問題である. 等速運動の速度と VR 酔いとの関係は調べられてきたが, 等加速度運動の加速度と VR 酔いの関係についての知見は不十分であるため, 本研究では特に回転運動と VR 酔いに注目し, その中でも特に加速度の影響に着目して被験者実験を行った. 速度や加速度と VR 酔いの関係が明らかになれば, ゲームなどのコンテンツ作成の際のガイドラインを示せるかもしれない.

キーワード: VR 酔い, 他律運動, 回転速度, 回転加速度

1. はじめに

1.1 目的

VR ヘッドセットないし頭部搭載型ディスプレイ (Head-MountedDisplay: 以下 HMD とする) は, 仮想現実 (VirtualReality: 以下 VR とする) を体験する装置として主流となっている. しかし, その際に生じる VR 酔いは長時間の使用を妨げ, HMD の普及を妨げている大きな要因の一つである.

VR 酔いとは, HMD による VR 体験をした際に車酔いのような症状に見舞われることである. 主な症状としては悪心, 頭痛などがあり, ひどい場合には使用を中断せざるをえない. 酔いは, コントローラ操作やプログラムによって生じる視点や視線方向の運動との関連が広く指摘されている. 一方で現在最も一般的に使用されている VR 酔い対策は, 視野制限を行うことであろう [1]. これは VR 酔いを低減させるし, 様々な VR コンテンツで用いられているが, 表現の幅を狭め使用者の没入感を損なうというデメリットがある. 視野制限は, 酔いの発生しやすい適切なタイミングで必要最小限に行われるべきであると考えられる. 従って視点や視線の運動つまりカメラモデルの並進回転運動と酔いの関係がはっきりすれば, 視野制限の制御に役立つはずである.

1.2 関連研究

Ujike らは yaw, pitch, roll 回転時 (図 1) の速度が酔いに与える影響を被験者実験によって調べ [2], 回転の種類によらず, 30~60[deg/s] の回転速度が最も酔いを生じることを示した.

Chen らは前後, 左右並進時, yaw 回転時の速度が酔いに与える影響を被験者実験により調べ [3], 前後では 30[m/s], 左右では 15[m/s], yaw 回転では 38.2[deg/s] で最も酔うということが分かった. また, 左右方向の並進運動や, yaw 方向の

回転運動の方が前後方向の並進運動よりも酔いを誘発しやすいことを示した.

Terenzi らは前後, 左右の並進時, yaw, roll の回転時について, Kim らは左右, 上下の並進時, yaw, pitch の回転時の VR 酔いを発症し始める速度, 加速度の閾値を調べ [4][5], 並進時は 1.2[m/s], 回転時は 20[deg/s] で酔いを感じ始めることを示した. また, 並進時は加速度により酔い始めの平均速度が小さくなるが, 回転時は加速度の影響を受けにくいことをも示した.

これらの結果から, どの運動についても速度と酔いの関係は単調増加ではないこと, 並進運動より回転運動の方が酔いの程度が酷いことが分かった. また, 酔い始める閾値について, 並進時は加速度の影響で速度が小さい段階から酔いやすくなるが, 回転時の加速度の影響は小さいことが示唆されている. 運動の種類と速度, 加速度による酔いの関係, 酔い始める速度の閾値についての研究状況を表 1 にまとめる.

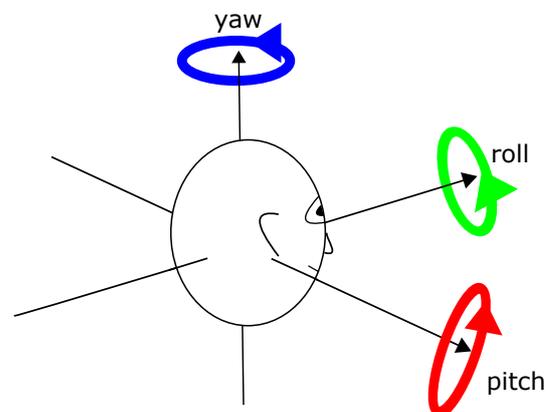


図 1: 回転方向の名称

表 1: 表のキャプションは表の上に置く

運動		等速		加速	
		関係	閾値	関係	閾値
並進	前後	[3]	[4]		[4]
	左右	[3]	[4] [5]		[4] [5]
	上下		[5]		[5]
回転	yaw	[2] [3]	[4] [5]		[4] [5]
	pitch	[2]	[5]		[5]
	roll	[2]	[4]		[4]

1.3 本稿の範囲

本稿では,yaw 方向の回転運動時の加速度や速度と VR 酔いについての関係を調べる. yaw 方向の回転運動を選んだ理由として, 加速度と VR 酔いの関係の調査がまだ進んでいないことや, 並進運動よりも回転運動の方が酔いやすいという結果が出ていること, pitch や roll 回転はむしろ運動表現のために使われることが多いのに対し, コントローラを使った VR 空間内での移動には yaw 回転は必須であるため重要度が高いこと, などがある.

2. 実験

2.1 提示映像

本実験で被験者に提示した仮想空間の一部を図 2 に示す. 実験では仮想空間内を yaw 方向に周期 12[s] で往復回転運動する映像を提示した.



図 2: 提示映像の一部

2.2 実験手順

被験者は各試行前に SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) [6] の記入を行った. SSQ は VR 酔いを計測する際に, 最も一般的に用いられている主観アンケートであり, 被験者は 16 の質問項目に 0 (なし) ~3 (激しく) の 4 段階で評価する. 集計したデータから 3 つのサブスコア (N: 悪心, O: 眼精疲労, D: ふらつき) とそれらの合計のトータルスコア (TS) が算出され, このスコアで酔いを評価する. この時スコアが 2 (中程度) 以上の項目があった場合は実験を行わなかった. その後, 被験者は HMD とホワイトノイズが流れるヘッドフォンを装着し両足立ちで映像を注視した. HMD 装着後 1 分以内に実験を開始し, 120 秒間回転する映

像を注視してもらった. 実験を中断または終了した後, 再び SSQ の記入を行ってもらい, そのスコアの上昇値で酔いを評価した. 各試行の間には 20 分以上の休憩を挟み, 中には翌日以降に実験を行った被験者もいた.

2.3 実験 1

本実験では回転運動時の角加速度, 角速度を変更し, それによる VR 酔いへの影響を調べた.

角加速度には 15,30,45,60,75,90[deg/s²] の 6 種類 (図 3) , 角速度には 30,60,90,120,150,180[deg/s] の 6 種類 (図 4) を用いた.

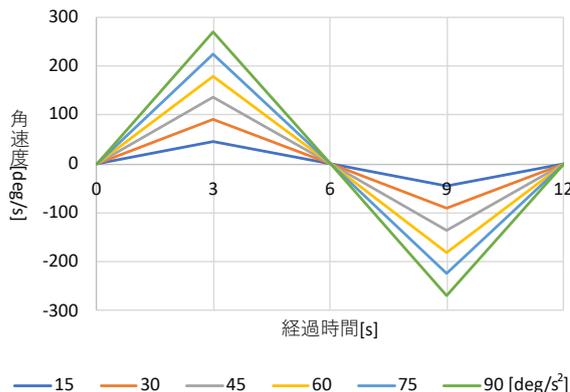


図 3: 1 周期における速度の変化 (加減速運動)

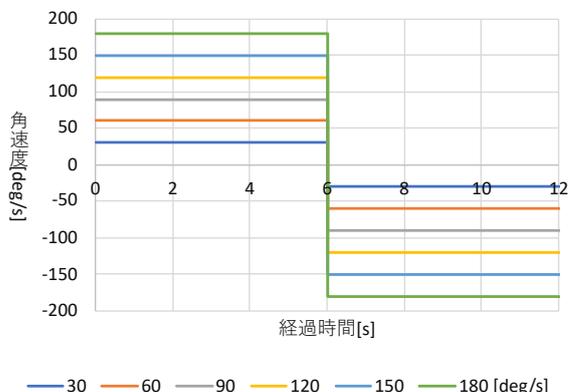


図 4: 1 周期における速度の変化 (等速運動)

加減速運動時の実験前後の SSQ スコアの差を図 5 に示す. グラフでは 15~30[deg/s²] 間でスコアが上昇し, 30~60[deg/s²] 間で減少, その後再び上昇しているように見えるが, Holm 法による多重比較を行った結果, 全ての要素においてどの試行間にも有意な差は見られなかった.

等速運動時の実験前後の SSQ スコアの差を図 6, に示す. 30~60[deg/s] 間でスコアが上昇しているように見えるが, これもどの試行間にも有意な差は見られなかった.

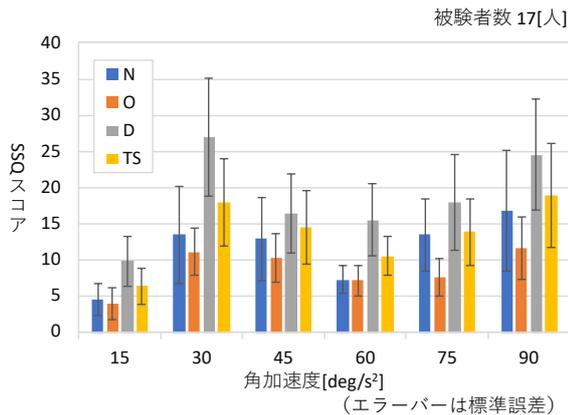


図 5: 各試行における実験前後の SSQ スコアの差 (加減速運動)

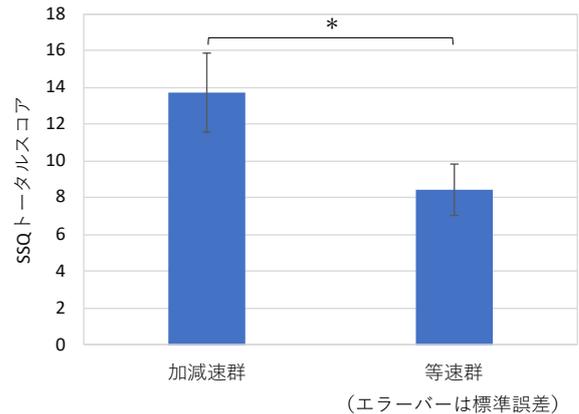


図 7: SSQ トータルスコアの比較

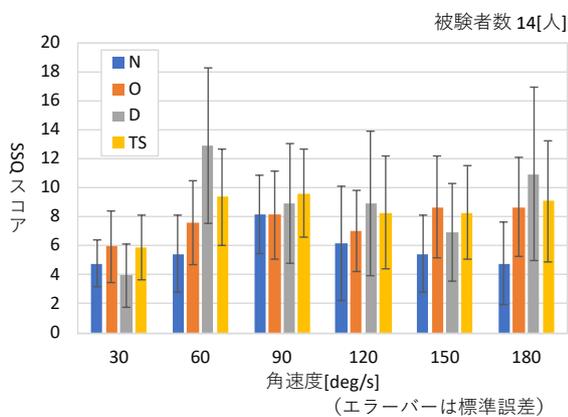


図 6: 各試行における実験前後の SSQ スコアの差 (等速運動)

2.4 加減速運動, 等速運動の比較

加減速運動と等速運動の VR 酔いへの影響を比較する。加速度と速度という単位の違うデータのため、本来直接比較をすることは適さない組み合わせであるが、加減速運動時の平均速度の範囲と等速運動時の速度の範囲にあまり大きな差がないため、適切な SSQ スコアの比較が出来るであろうと判断した。図 7 に各運動時の SSQ トータルスコアを示す。等速運動の方が V 全体的に VR 酔いは小さいようであり、SSQ トータルスコアを加減速運動群と等速運動群の 2 つに分けて比較したところ、有意水準 5% で有意差があることが分かった。

3. 考察

本実験によって判明したことを以下にまとめる。

1. 等速運動では 30~60[deg/s] を超えると酔いの程度は増加しない。
2. 回転運動時は加減速運動の方が等速運動よりも酔いやすい。

1 について、等速運動では、60[deg/s] 以下では速度が大きくなるにつれて酔いの程度は大きくなったが、60[deg/s] を超えると一定の範囲に収束した。[3] では 38.2[deg/s] まで速度と共に酔いも増加し、それ以降 (76.4[deg/s]) は酔いの増加が見られなかった。これは本実験の傾向と一致しており、[3] と本実験の結果を総合して考えると、30~60[deg/s] 間に最も酔いを誘発しやすい速度の閾値がある可能性が考えられる。なお、本実験の速度レンジは 30~180[deg/s] と、[3] の 76.4[deg/s] よりより広く、[3] が示した酔い飽和がより高い速度でも続いていることも分かった。

2 について、加減速群と等速群の結果の比較から加減速運動の方が VR 酔いをよく誘発することが分かった。また、[4],[5] の結果と比較すると、酔い始める平均速度の閾値に加速度が与える影響は少ないが、閾値を超えると酔いの程度は等速時より加減速時のほうが大きくなるということが考えられる。以上の事から、VR コンテンツ作成の際には加減速運動の使用はなるべく控え、加減速運動を用いる際には閾値 (15[deg/s²]) 以下の範囲で使用すべきであろう。

4. 結論

本稿では回転運動時の角加速度や角速度が VR 酔いに与える影響について調べた。その結果、等速運動よりも加減速運動の方が酔いやすいこと、等速運動時は 60[deg/s] 以下で酔いは速度と共に上昇するが、それ以上では酔いの程度がほぼ一定となることを示した。このことと [4],[5] より、VR コンテンツ作成の際には回転加速度は用いない方が良く、20[deg/s] 以下で等速運動をした方が良く、加速度を用いるなら 15[deg/s²] 以下のものを用いるべきだという基準が導かれよう。

参考文献

- [1] A. S. Fernandes, S. K. Feiner : Combating VR sickness through subtle dynamic field-of-view modification, 2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI), 2016, pp. 201-210, doi: 10.1109/3DUI.2016.7460053.
- [2] H. Ujike, T. Yokoi, S. Saida : Effects of virtual body motion on visually-induced motion sickness, The 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.
- [3] Chen, Wei : Effects of navigation velocities in fore-and-aft, lateral, yaw axes on cybersickness caused by exposure to a virtual environment, Thesis (M.Phil.)—Hong Kong University of Science and Technology, 2006.
- [4] Lorenzo Terenzi, Peter Zaal : Rotational and Translational Velocity and Acceleration Thresholds for the Onset of Cybersickness in Virtual Reality, AIAA Scitech 2020 Forum 6-10 January 2020.
- [5] Jiwon Kim, Taezoon Park : The Onset Threshold of Cybersickness in Constant and Accelerating Optical Flow, MDPI Journals, Applied Sciences, 2020, 10(21).
- [6] Robert S. Kennedy, Norman E. Lane, Kevin S. Berbaum, Michael G. Lilienthal : Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness, The International Journal of Aviation Psychology 3, 203-220, 1993.