

姿勢揺動による VR 酔いの検出

井上晴天¹ 坂口冨太郎¹ 轟 浩二^{1,a)}

受付日 2020 年 2 月 25 日, 採録日 2020 年 2 月 25 日

概要: 現在 VR 機器を使ったコンテンツが数多く利用されている。しかし、それらのコンテンツにおいて 3D 酔い、特に VR 酔いを感じてしまい満足な体験をできないユーザも少なくない。そこで我々は、VR 酔いを軽減することを目的として、まずユーザがどの程度 VR 酔いしているかの指標を作ることを試みる。この指標として、深度センサを用いた姿勢揺動による研究を行った。実験の結果、揺動から VR 酔いを検出することができる可能性があることがわかった。

キーワード: 仮想現実(VR), 動揺病, VR 酔い

VR sickness detection by posture fluctuation

HARUTAKA INOUE¹ KOTARO SAKAGUCHI¹
KOJI TSURU^{1,a)}

Received: February 25, 2020, Accepted: February 25, 2020

Abstract: Currently, a lot of contents using VR devices are used. However, there are not a few users who experience 3D sickness, especially VR sickness, in these contents and cannot enjoy a satisfactory experience. In order to reduce VR sickness, we first try to create an index of VR sick. As an index of this, a study was conducted using posture fluctuation using a motion sensor. Experimental results showed that VR sickness could be detected from posture fluctuations.

Keywords: virtual reality (VR), motion disease, VR sickness

1. 緒言

現在、ゲームやアミューズメント等の娯楽に積極的に、仮想現実 (Virtual Reality 以下 VR) と呼ばれる技術が使われている。これは、コンピュータによって生成された仮想的な空間をあたかも実世界であるかのように体験できる技術である[1]。これは主に VR ヘッドセットと呼ばれる視界を遮る機器を装着し体験する。このような要素を取り入れたコンテンツが数多くリリースされている。

2016 年に一般ユーザ用に発売された VR ヘッドセット (HTC VIVE) によって、VR 元年と呼ばれる程に VR が普及した。しかし、今に至るまで、VR を体験しているユーザが乗り物酔いのように酔ってしまうという問題に悩まされ続け

ている。

そこで、ユーザが VR 酔いをしているかを外部から簡単に測る仕組みがあれば、ユーザが VR 酔いを起こさない程度の VR コンテンツを選択できるだろうという発想に至った。また、ユーザの体の動きから VR 酔いを起こしているかどうか分かるのではないかと仮説を立てた。

本研究では、ユーザが VR 酔いを起こしているかどうかを検出可能かどうか調査すること、どの程度の VR コンテンツなら体験可能かの指標を作ること、どの程度 VR 酔いをしやすいかを測定できるような仕組みを作ることを目標とする。そのために、まずはそのユーザが VR 酔いを起こしているかどうか検知できるように、その指標を作ることを試み、ユーザが酔っているかどうかの大まかなフィードバックをできるように、Microsoft 社の Kinect と VR ヘッドセットを用いた実験を行った。結果として、重心の揺動から VR 酔いしているか、していないかを判別できることがわかった。

¹ 大分工業高等専門学校 情報工学科
National Institute of Technology, Oita College, Department of
Information engineering
a) tsuru@oita-ct.ac.jp

2. 実験準備

2.1 酔い(動揺病)について

投平柳要らの報告[4]において、動揺病の概要として以下のように説明されている。

まず、体の感じる動きや感覚が学習、記憶され処理されると、ただちに身体の重心の平衡が保たれる。学習した情報から、次にどのように体が動くかとか、反射的な動きのようなパターンが形成される。

実際の動きと予測された動きとの比較がされ、両パターンに齟齬があったとき、感覚の混乱により様々な乗り物酔い症状を引き起こす。したがって、乗り物酔いは、脳で体の動きの認知が完了するまでの適応過程で起こる生体的な防御反応と考えられる。

感覚の混乱には、3つのタイプがある。その中でも特に、視覚情報はあがるが、体の感じる加速度の情報がないものが、シミュレータ酔いやVR酔いに当てはまるという。

以上が現在までにわかっている知見である。

2.2 VR酔いについて

VRヘッドセットを利用したVR体験特有の要因として、以下の5つが挙げられる。

- (1) 視覚だけが加速度運動をしていること
- (2) フレームレート不足・処理落ち
- (3) 至近距離での激しい動き
- (4) VRの壁を通り抜けてしまう
- (5) 視覚情報と平衡感覚のズレ

以上の5つの要因が自律神経系の乱れと平衡感覚の乱れを起こしVR酔いを起こすとされている[7]。

2.3 実験の根拠と仮説

実際にUBISOFT社EagleFlightというゲームでは、上記の5つの原因への対策と基本的なVR酔いへの対策を施している[7]。本対策のポイントは、進みたい方向へ体を倒すことで移動できるという仕様である。また前述のように、とにかく視覚での情報と実際の状態の齟齬が大きな原因だとすると、すなわちこの仕様は、その視覚での情報と実際の状態の齟齬を可能な限り小さくしようとする試みであることがわかる。そしてそれは実際に効果があるという。また2.1の動揺病の説明にもあるように、無意識下で今までの運動の体験を基に身体の平衡が保持されるとある。

以上から、VR酔いが起こっている状況下にあるということは、その脳の記憶や学習にない特異な状態を補正するために、体に揺動や傾きといったものが表れるのではないかと、という仮説を立てた。

2.4 酔いの度合いの基準 SSQ アンケート

本実験では、VR体験後、被験者が実際に酔っているかどうかを調べるために、映像酔い/疲労の評価で用いられてき

た SimulatorSicknessQuestionnaire(SSQ)[4-5]というアンケートを取る。16項目の症状について、全くなければ0、少しあれば1、中程度にあるならば2、大いにあるならば3といったスコアを記入する[4]。このスコアを基にSSQ総合スコアを割り出し、酔いの主観評価として得る。基本的にこれが高いほど、被験者は酔っているということになる。

2.5 使用するPCとソフトウェア

今回使用したPCについては、実験室のもので、VRコンテンツの実行に最低限適したスペックを持っており、OSはWindows10 Education版を使用している。開発環境として、エディタとしてVisualStudio2019、ゲームエンジンにUnity、UnrealEngine4を使用している。また外部入力機器としてKinect、VRヘッドセットとしてHTC VIVEを使用している。PCの詳細なスペックについては以下のとおりである。

OS:Windows 10 Education 64bit

CPU:Intel Core i5 8600

GPU:NVIDIA Geforce GTX1060(6GB)

RAM:8GB

2.6 使用する機材

(1) HTC VIVE

図1に示すのが、2016年にHTC社から発売されたVRヘッドセットである。リフレッシュレートは90Hzで、解像度は片目当たり1080*1200ピクセル、視野角は110°となっている[7]。



図1 HTC VIVE

(2) Microsoft Kinect v1

図2に示すのが、人間を検知し20関節の位置までトラッキングができる深度センサである。これを用いて、後述するUnityで3D空間での人の関節位置を投影する[8]。



図2 Kinect

2.7 解析ソフトウェア

Kinect を用いて、重心や各部位の位置や回転を測定するソフトウェアを Unity によって作成した。Kinect で取得できる全 20 箇所の部位の位置と回転を Unity 用の SDK によりそれらの情報を処理できるようにした。

重心の計算は、上半身重心にあたる 10 箇所の部位の座標の平均、下半身重心にあたる 10 箇所の座標の平均、その二つの重心をとって身体重心を算出している[9]。これで得た重心のデータは、以下の図 3 のような結果になった。

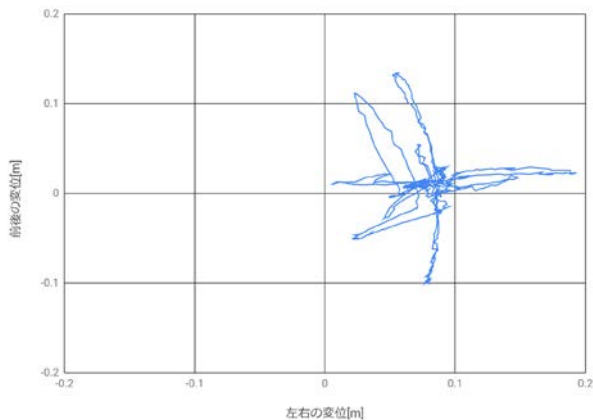


図 3 Kinect での重心の移動の記録

前後左右に体を傾けるといふ動きを記録したものである。前後に軌跡が見られるので、妥当性はあると考える。

重心の変位が一番外側に行った点がわかるようになっている。ある時間からある時間までの重心の動き、頭と体の軸の位置とピッチ、ロール、ヨー（以下 x,y,z 回転）と時間を csv として出力可能である。また、エディタ上でリアルタイムに重心の動きと体の動きをモニターできる。以下の図 4 は実際に動作している場面をまとめた図である。

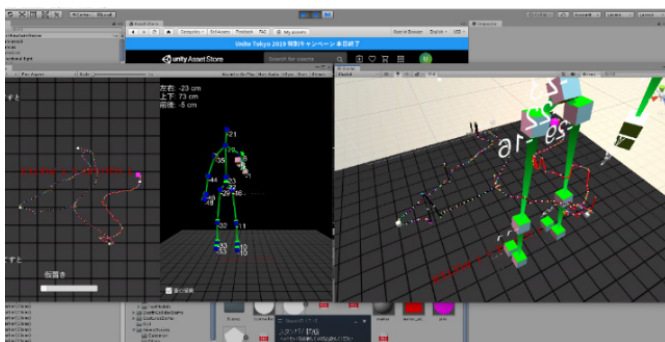


図 4 ソフトの動作画面

2.8 実験 I で使用した VR コンテンツ

UnrealEngine を使用して開発したレースゲームである。レースゲームである理由は、VR 酔いを起こす原因と VR 酔いを起こす 5 つの大きな原因より、特に視覚だけが加速度運動をしている、至近距離での激しい動き、視覚情報と平衡感覚のズレを再現するためである。

実験 I では、ユーザは図 5 に示すようなランダム性のあるダートコースを第三者によって操作される車の助手席に乗って走るといふようなコンテンツとなっている。



図 5 実際の動作画面

2.9 実験 II で使用した VR コンテンツ

Unity を使用して開発した図 6 のようなレースゲームである。上記とレースゲームである理由は同じであるが、こちらは車が必ず同じルートで同じ時間にコースを周回するように設定している。特徴的なポイントで、被験者ら全員のそのタイミングの重心の動きを見ることで、酔う人と酔わない人でどの位の揺れ方の差があるか等がわかるようにするためである。

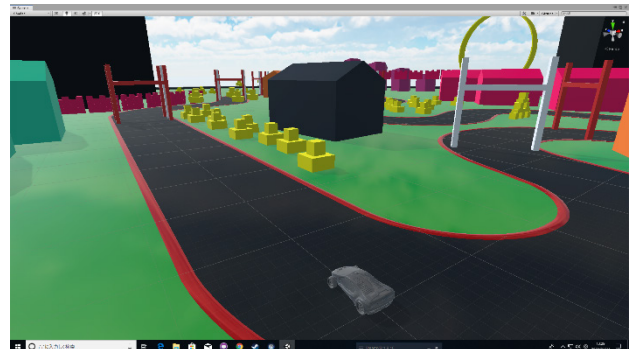


図 6 実際の動作画面

3. 実験準備

3.1 実験 I

VR 酔いを感じている人と感じていない人で、平常時と VR コンテンツを体験している時それぞれでどの程度揺動の違いが出るか、2.3 の仮説を満たす確認するための実験である。取得するパラメータも重心の揺動のみとなっている。

3.2 実験 I の方法

被験者は図 7 のように、Kinect から 2m 前後離れて、力を抜いて直立した状態での重心揺動を計測する。2.2.2 で述べた酔いを起こすための VR コンテンツにて停止状態と走行状態の 2 パターンを体験させる。体験後、被験者が実際に酔っているかどうかを調べるために、SSQ のアンケートを行う。尚、この実験の時点では csv 出力機能はなかったの

で、実験結果は画面キャプチャで保存した。

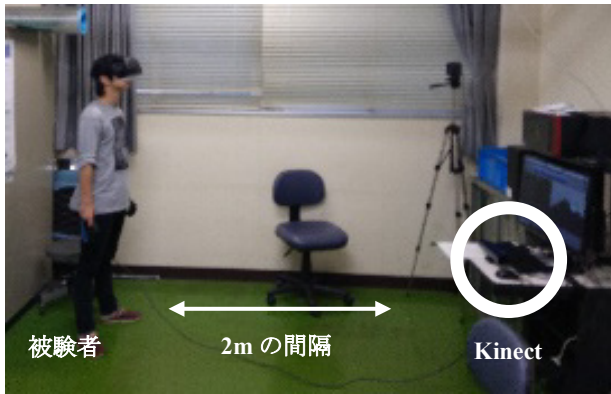


図 7 測定環境

3.3 実験 I の結果

被験者は男性 5 名、女性 1 名、平均年齢は 20.0 才の 6 名である。図 8.9 は VR 酔いを感じたと申告した 3 名のうち、顕著に結果が出た被験者 B の結果である。図の 1 マスは 10cm で、小さいラインが重心の揺動を記録したもので、白いマーカーが一番外側の重心の揺動で、ピンク色の四角は現在の重心の位置である。

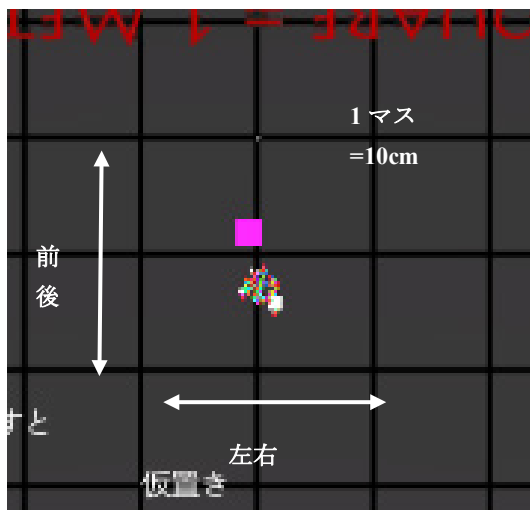


図 8 被験者 B の停止時の重心の揺動

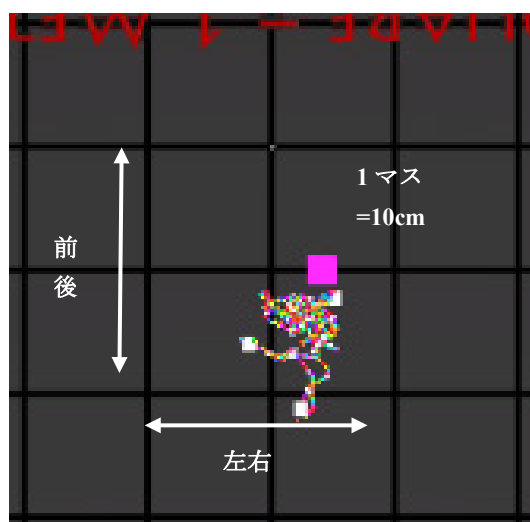


図 9 被験者 B の走行時の重心の揺動

また以下の図 10,11 は VR 酔いを感じなかったと申告した 3 名のうち、顕著に結果が出た被験者 F の結果である。

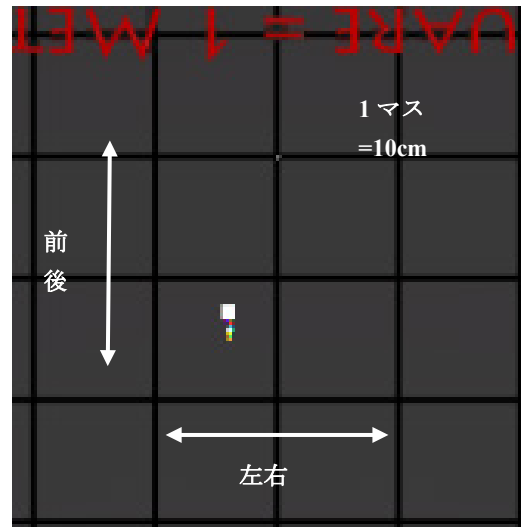


図 10 被験者 F の停止時の重心の揺動

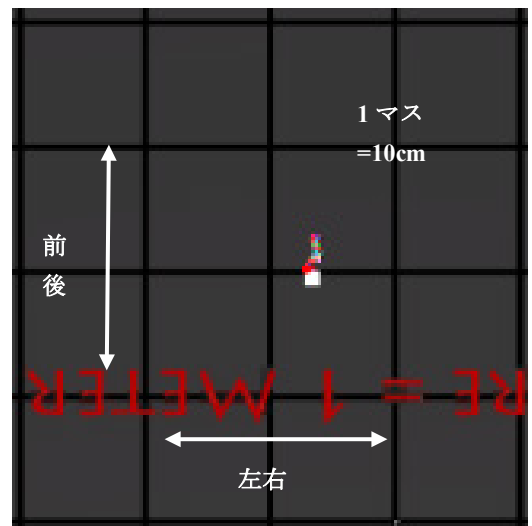


図 11 被験者 F の走行時の重心の揺動

表 1 被験者の SSQ スコア

被験者	SSQ 総合スコア
A	26
B	14
C	13
D	0
E	1
F	0

酔いを感じたと申告した被験者 A,B,C の 3 名は、平常時から平均して 5~6cm 程の揺れの最大値が増加し、重心の移

動の散らばりの増加が認められる。これは図 8, 9 からわかる。他の被験者も重心の揺動に同じ傾向が表れていた。また、表 1 に示す SSQ によるアンケートの結果もそれに伴った結果である。前述したとおり、SSQ スコアが高いほど酔ったという主観評価になる。

また、酔いを感じていないと申告した被験者 D,E,F の 3 名は、平常時からほぼ揺れの最大値が増加せず、重心の移動の散らばりも平常時から変わらないか、同じような動きのパターンを維持している傾向があることがわかる。これは図 13, 14 からわかる。こちらも表 1 に示す SSQ によるアンケートの結果とも一致している。

3.4 実験 I での考察

SSQ アンケートの総合スコアが高い被験者は重心の揺れと散らばりが多くなり、逆に低い被験者は重心の揺れと散らばりは少ない傾向が表れた。これは、酔いの度合いと重心の揺れと散らばりが比例していることを示していると言える。アンケートが、酔った被験者とそうでない被験者でそれ相応の結果が出たので、この実験にも適用できることがわかった。被験者の数は少ないが、結果は姿勢の揺動から酔いを感じているかどうかを判別できる可能性があることを示唆している。

3.5 実験 II

実験 II では、酔いを大きく感じるほど大きい重心の揺動とその散らばりが見られることを前提として、実験を行う。この実験 II では Kinect で取得する情報を増やし、時間情報と頭部や体の軸の回転情報を取得するようにした。なぜ頭部や体の軸のみの回転情報を取得したのかについては、無意識下で発生する、カーブを曲がる時等に目がその先を追う現象である回旋眼球運動 (torsion)[10] というものがあり、他の部位と比べて、それにつられて頭や胴が動く可能性が高いから、つまり揺動の検出に効果的に利用できるパラメータになる可能性があるからである。

3.6 実験 II の方法

実験方法はおよそ 3.2 と同じである。

3.7 実験結果

被験者は全員で 11 人である。ソフトでの検出結果を csv に出しており、それぞれ以下の図のようなグラフにまとめた。また、対応する被験者の SSQ の結果の数値をグラフの上部に記してある。

図 12-14 は、被験者の重心の変化と頭の回転を示した図である。図 12 は酔ったと申告した被験者(G), 図 13 はそうでない被験者(H), 図 14 は特定の秒数で大きな揺れが出た被験者(I)のような特徴を持つそれぞれの例である。SSQ の総合スコアの数値と比べ合わせて、およそ重心の揺れ方や散

らばりが比例するようになっていのがわかる。

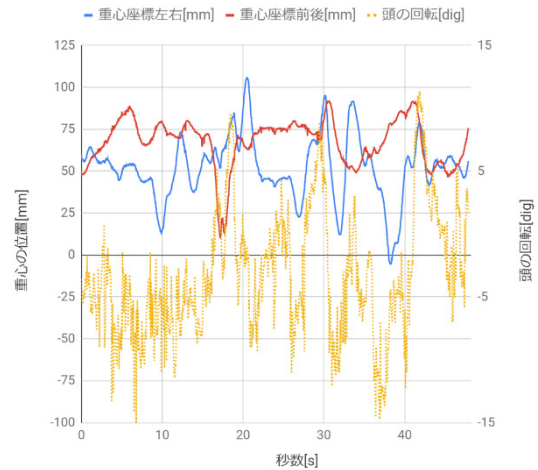


図 12 被験者 G の測定結果 (SSQ 総合スコア 14)

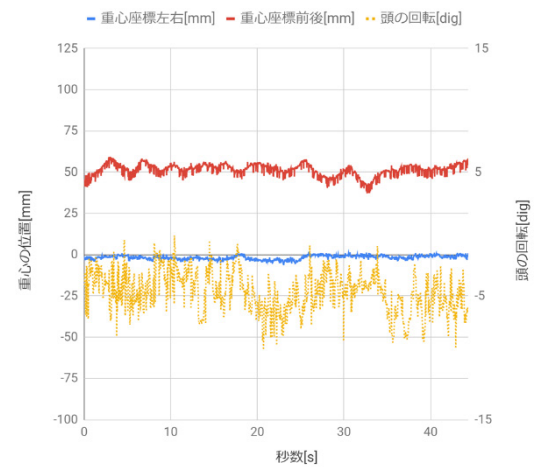


図 13 被験者 H の測定結果 (SSQ 総合スコア 6)

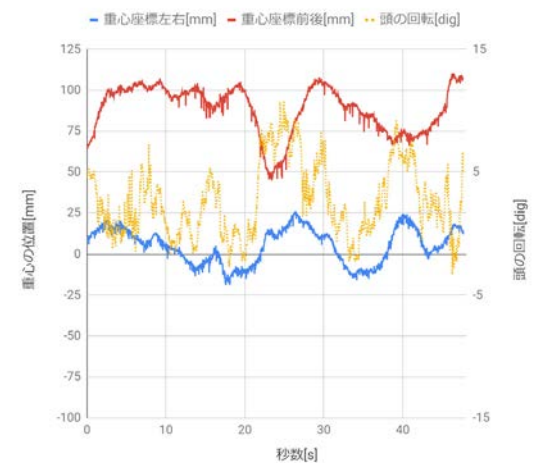


図 14 被験者 I の測定結果 (SSQ 総合スコア 14)

3.8 実験 II での考察

それぞれの結果からわかる特徴を詳しく見ていくと、図 14 のような結果が出た 3 名の被験者は、一見重心の揺れの度合いと SSQ の結果が比例していないように見えるが、7

秒付近と 20 秒付近と 30~40 秒付近で重心の大きな揺れが見られる。ここで映像は激しい揺れを伴うものである。そのため、この地点で VR 酔いにつながる可能性のある不快感を感じたのではないかと読み取れる。

また、顕著に結果として表れているのは、酔いをはっきりと感じなかったという被験者 2 名は、図 13 のように重心の揺れがほとんどなく、特筆すべきは先ほどの 7 秒付近と 20 秒付近と 30~40 秒付近で重心の揺れもほとんど見られない。それに伴って SSQ の結果もはっきりと低い値になっている。これは、VR 酔いに耐性があるユーザははっきりと見分けることができることがわかる。これらの結果は、重心の揺れと散らばりによって VR 酔いの度合いを知ることができる可能性を支持する結果となっていると考える。

また、回転の情報と時系列データから読み取れるのは、一部の被験者は、重心の x 軸と y 軸を表す折れ線がはっきりと動くときに、わずかではあるが、頭の回転 z のグラフもその瞬間だけ動いている。つまり、重心が動くと同時に頭の軸の動きが左右に回転していることがわかる。これは、頭の軸の回転が発生したとき、それに伴って重心の揺れも発生することを機械的に読み取れたと考えられる。しかしながら、Kinect は回転という動きをうまくトラッキングすることができないという欠点がある。そのため、グラフにあるように回転の動きも少量しか読み取れなかったと考えられる。Kinect では頭の回転を評価することは難しい。一部の被験者は全く頭の軸の回転が表れていない時に重心の揺れが発生しているケースもある。これより、頭の回転が起きた時重心の揺れも発生する可能性がある、この結果を正確に検証する必要がある。検出する方法として、VR ヘッドセットには高性能なジャイロセンサが用いられており、直接高精度に読み取られた頭の回転をデータとして取り込めるため、そのデータを使い頭の軸の回転と重心の揺動の関連性を探すとする方法が考えられる。VR ヘッドセットが利用でき、高精度で頭の軸の回転を計測できるようになった際に検討すべき観測点としては、どの場面でのどの程度頭が回転しているかである。これにより、VR ヘッドセット単体だけで重心が揺れたことを検知し、VR 酔いが起こっているかどうかを読み取れる可能性がある。

また、全員分の実験データを見比べると、7 秒付近と 20 秒付近と 30~40 秒付近で大小なりとも重心の揺れが見られる。これは、それぞれ、一番最初のカーブ、ジャンプ台、S 字の連続カーブの地点を走った時間に対応しており、このようなコースでは重心の揺動が起きやすいことがわかる。また、VR 酔いを感じないと報告した人は、この地点での揺動も少ないか、もしくは無い。この結果から、被験者が少ないため信憑性が少ないが、VR 酔いを感じていた被験者に共通して揺れが発生している場面を抽出し、そのパターンに則った VR コンテンツを構成してユーザに体験させれば、効果的に VR 酔いを感じやすいか感じにくいかの判定がで

きる可能性がある。例えば、VR 酔いをしやすい体質のユーザにこのシーンを見せればすぐに酔う、といったコンテンツを作り、VR 酔いしやすいユーザを検出する、といったような方法が考えられる。

4. 問題点と考察

頭の回転と体の軸の回転を Kinect で検出する試みは、前述の通り、検出された値が著しく小さいものであった。Kinect は回転する動きに弱く、実験をするうえで具体的に検証したところ、頭を横方向に 90° 回転させてやると Kinect は 45° 前後の回転を検出した。実験では、被験者は直立のまま力を抜く状態にあるため、せいぜい頭が傾いても ±5° 前後である。結果としてはその実験中の頭の傾きはわずかにグラフに出ており、そのタイミングも重心の揺れた時の前後に出ていたので、正しく検知しているように見えるが、これでは回旋眼球運動による頭の回転が出たということから重心の揺れを予測できるということは言い切ることはできないと考える。

前述の通り、VR ヘッドセットの位置トラッキングと回転トラッキングによりデータを取る方法もあるが、この方法での問題点として、現在のシステムでは VR アプリケーションを 2 つ同時に起動できず、VR ゲームと VR 酔いを計測するソフトを同時に起動できないため、VR 酔いを計測するソフトにテスト用ゲームが付属するような形を取らないといけない。それは汎用性が著しく削られると考え、今後は別々の PC で測定を実現することが望ましい。

さらに、依然として現実のユーザは一步も動かないが、コントローラのような入力機器を使用して、仮想空間では移動している、というような状況への対応ができていない。現在市販の VR ゲームではこのようなゲーム内での移動方法をとっているものがほとんどで、さらに実験で行っているような直立の姿勢を維持するだけのものではなく、体を大きく動かすものや、両腕を振り回すようなものがほとんどである。そのため、この実験方法では本質的な VR 酔いの検出ができていないのではないかと懸念もある。静止して VR 映像を見るだけの形のような実験では VR 酔いを起こしている人は体の揺動が起きている。そのため、揺動の具合やパターンでのどの程度の VR 酔いを感じているかというこの仮説が正しいかどうかというものを慎重に調べて検証すべきである。また、360° 見回せるような VR 映像を座りながら見るといったような VR コンテンツも多くあるので、これらに対する需要もあるのではないかと考える。

この実験で大勢の被験者データを集めることができ、データベースに十分量の情報が集まれば、機械学習によってどの程度揺れているか、どのような揺れ方のパターンなのか、例えばコンテンツの何秒当たりで揺動が発生しているか、という情報によって、どのくらい酔っているかというものを判断できると考えている。ユーザが Kinect のような

姿勢の状態を検知できる機器の前に立ち、VR酔いを意図的に引き起こすようなテスト用のVRコンテンツを体験させて、測定した回転と揺動のデータから、そのユーザがどの程度VR酔いをしやすい体質か、どの程度のVRコンテンツであれば快適にプレイができるかといったようなことが自動的に判断できる可能性がある。

5. 結言

本研究では、VR酔いが重心の揺動や体の回転を測ることで検出可能であるかどうかを調査すること、VRコンテンツにおけるVR酔いの指標を作成することを目的とした研究を行った。

実験の結果、被験者の重心の揺れや散らばりの度合いと主観評価であるSSQアンケートの結果を比較して、相関があることがわかり、深度センサで測定した重心の揺動からVR酔いの状態を判別できることを明らかにした。

参考文献

- [1] 加藤悠一, XR (VR, MR, AR) の動向についてのご紹介, 技術者が紹介する NTTPC のテクノロジー.
<https://www.nttpc.co.jp/technology/xr.html>, (参照 2020-02-22).
- [2] EpicGames, 仮想現実のベストプラクティス.
<https://docs.unrealengine.com/ja/Platforms/VR/DevelopVR/ContentSetup/index.html>, (参照 2020-02-22).
- [3] Unity Technologies, Tutorial・VR Best Practice.
<https://learn.unity.com/tutorial/vr-best-practice#5c7f8528edbc2a002053b44f>, (参照 2020-02-22).
- [4] 平柳要: 乗り物酔い(動揺病)研究の現状と今後の展望. 人間工学, 2006, Vol.42, No.3, p. 200-211.
- [5] 氏家弘裕, 知っておきたいキーワード 映像酔い. 映像情報メディア学会誌, 2007, Vol. 61, No. 8, p.1122-1124.
- [6] 4gamer-aueki, “Eagle Flight が超高速でVR空間を飛ぶために気をつけていること”, GCD2017.
<https://www.4gamer.net/games/326/G032696/20170303142>, (参照 2020-02-22).
- [7] VIVE, “ヘッドセット仕様”.
<https://www.vive.com/jp/comparison>, (参照 2020-02-22).
- [8] Microsoft, キネクトセンサー取扱説明書.
- [9] “身体の重心とは? 動作分析に必要な重心の位置と求め方”.
<https://pt-matsu.com/center-of-gravity>, (参照 2020-02-22).
- [10] 近江政雄, 金子寛彦, 松宮一道, 佐藤 雅之, 空間知覚の理解へ向けて—イアン・ハワード先生の研究から学ぶこと—. VISION, 2013, Vol 25, No.4, p.167-175.