

# 脳波データを利用した VR 酔い時の脳波の特徴が発現するタイミングの分析

岩崎健太郎<sup>1,a)</sup> 高見利也<sup>2,b)</sup> 畑中裕司<sup>2,c)</sup>

**概要**：現在の VR の利用には酔いによる健康上のリスクが存在する。現状では体調悪化の症状が現れるまで利用者は何も対処できないという状況である。この問題を解決するために、VR 利用者が体調を悪化させてしまう前に自身の体調の変化を把握できる仕組みづくりが必要であると考えられる。そこで、本研究では映像酔い等で用いられる脳波の反応が VR 利用時にどのタイミングで現れるのかを分析した。その結果、脳波の反応リストと一致する範囲の増減に対して時間経過ごとに共通の特徴が現れることが確認できた。

## Analyze timing of occurring feature during VR motion sickness using EEG

KENTARO IWASAKI<sup>1,a)</sup> TOSHIYA TAKAMI<sup>2,b)</sup>  
YUJI HATANAKA<sup>2,c)</sup>

**Abstract**: Using VR is risk for users to get sickness. In current, there is no way for users how to realize their physical condition during playing VR. In order to resolve this problem, it is important to make system for VR users to realize physical condition before getting sick. In this study, we analyze timing of occurring feature during VR motion sickness using EEG. As the result, we confirmed that some common feature is appeared about range of matching feature during VRMS, and how VR movies used in experiment affect discomfort subjects.

### 1. はじめに

近年、VR の普及が進んできている。現在では教育や医療、エンターテインメントなど様々な分野で VR が利用されるようになってきた。また、HTC と Valve Corporation が開発した HTC VIVE や Meta 社の Meta Quest に代表されるような一般家庭でも利用できる VR 機器が登場したことにより、VR に触れる機会が増大していると考えられる。

しかし、VR には VR 酔いと呼ばれる健康上のリスクが問題視されている。VR 酔いは、動揺病の一種と考えられており、VR を利用している際に頭痛や吐き気などの体調不良になってしまうことが挙げられている。

VR 酔いが起こる原因は詳しくは解明されておらず、諸説提唱されている状態である。また、酔ってしまうタイミングや症状について個人差が大きいいため、VR の利用者は具体的な対策を取ることができていない状態である。そのため、利用者に対して VR 映像を視聴している最中に体調が悪化してしまわないか不安を与えてしまい、VR の利用をためらわせてしまっていると考えられる。

このような VR 酔いによるネガティブな経験や印象が原因で利用者が離れてしまう事態となれば、VR が多くの技術的發展や普及の可能性を秘めたものであっても、受け入れられないコンテンツへとになってしまうことが考えられる。

そこで我々は、VR 利用者が体調を悪化させてしまう前に自信の体調の変化を把握し、事前に対処することを補助する仕組み作りが必要であると考えた。近年、VR 酔いを含む映像酔いに関する研究では、脳波や心拍などの生体情報を用いて酔い時の特徴を分析する手法が採用されはじめている。そこで VR 利用者の生体情報と VR 空間内のカメラの移動情報を取得し、カメラの揺れ等の演出がある VR 映像を視聴した際にどのようなタイミングで先行研究にて示された生体情報の反応が現れるのか分析を行う。

本稿は、6つの章で構成されている。第2章では、VR 酔いについて酔いの原因や対処法、酔いの評価手法など、先行研究により得られた知見について述べる。第3章では、研究を進めるにあたり開発したシステムの概要とその機能について述べる。第4章では、本システムを利用して行っ

1 大分大学大学院 工学研究科

2 大分大学 理工学部

Oita University, Oita-shi, Oita 870-1123, Japan

a) v20e3001@oita-u.ac.jp

b) takami-toshiya@oita-u.ac.jp

c) hatanaka-yuji@oita-u.ac.jp

た実験内容について、第5章では実験結果と考察を述べる。最後に第6章で結論と今後の課題を述べる。

## 2. VR 酔い

### 2.1 VR 酔いとは

VR 酔いは、VR 映像を視聴している際に起こる現象で、目眩や吐き気などを感じることもある。症状の種類やその程度には個人差があるとされている。

VR 酔いがどのように生じるのかについては、未だ解明できていない部分が多く、国内外で研究が進行している。現時点では、酔いの発生原因を説明するものとして「感覚の不一致説」が有力な仮説だと考えられている。

感覚の不一致説とは、視覚から得られた情報とその他の体から得た感覚情報の組み合わせが、過去の経験による予測と異なるときに不快感を生じ、不快感に耐えられなくなると吐き気等の症状が出てしまう説を指す。

人が現実世界を歩いている際には、目の網膜から受け取った視覚からの情報、三半規管による前庭感覚からの頭部の加減速・回転情報、足が地面に触れた触覚の情報等を認識している。しかし、ヘッドマウントディスプレイ内に描画されたジェットコースターに乗っているカメラの映像を見る時などでは、視覚から受けとった景色が流れることによる移動情報が認識できるが、利用者の体が移動していないことによって他の感覚が動いていないという移動情報を与えてしまう状況になる。このように、体から得られた情報と視覚情報に違いが、これまで現実世界の移動で培ってきた予測とずれることで不快感を生じるとされる。

### 2.2 VR 酔いへの対策事例

Meta 社が公開している Oculus ベストプラクティスでは、Meta 社が VR 酔いの仕組みとそれを防ぐ対策についてまとめている [Oculus, 2015]。カメラ移動時において加速移動は視覚、内耳の前庭覚、自己受容感覚との間で感覚の不一致が生じることがあると示されている。対処法としては加速を長い時間をかけて徐々に行うよりも可能な限り短く、頻度も少なめに行うことが良いとされている。また、加速処理はユーザからの入力で制御することが望ましく、カメラを揺らしたり、すばやく上下に移動させたり、ガタガタと振動したりするような演出は不快に感じてしまうとされている。

### 2.3 酔いの評価手法

従来研究では、酔いによる生体への影響を計測する手法として主観的に評価を行う心理学的計測手法と、自立神経の活動をセンサなどで計測する生理学的手法の2つの方法で行われている。映像酔いに関連した研究においては、心理学的計測手法では SSQ(Simulator Sickness Questionnaire) 法、生理学的手法では被験者の脳波や心拍などの生体

情報を計測する手法が取られていることが多い。

SSQ は、酔いに関連した質問に対してアンケート形式で回答することで主観的に評価を行う手法である。SSQ は Kennedy らが開発し、シミュレータ酔いの評価手法として利用されてきた [Kennedy, 1993]。質問項目は、「悪心 (Nausea)」、「眼精疲労 (Oculomotor)」、「失見当識 (Disorientation)」、「総合 (Total)」の4つの種類に分類されており、各質問に点数をつけて回答することで、酔いの種類ごとのスコアを算出することが可能となっている。

SSQ のスコアである NS(NauseaScore)、OS(Oculomotor Score)、DS(DisorientationScore)、TS(TotalScore)の計算式を以下の式(2.1)から式(2.4)に示す。式中の  $a$ 、 $b$ 、 $c$  の値は SSQ のサブクラスに分類された各質問項目のスコアを合計したものである。

$$NS = a \times 9.54 \quad (2.1)$$

$$OS = b \times 7.58 \quad (2.2)$$

$$DS = c \times 13.92 \quad (2.3)$$

$$TS = (a + b + c) \times 3.74 \quad (2.4)$$

一方、生体情報では被験者の脳部位ごとの脳波を計測した分析が行われている。脳波は、周波数帯によって以下の表 1 に示されるような特殊波形に分類され、それぞれに生理学的な特徴を有している。

表 1 脳波の特徴波形の種類

種類	周波数帯 [Hz]	検出されやすい状況
$\alpha$ 波	8 - 13	落ち着いている、集中している
$\beta$ 波	13 - 30	緊張、不安を感じている
$\theta$ 波	4 - 7	眠気がある、浅い睡眠
$\delta$ 波	0.5 - 4	深い睡眠
$\gamma$ 波	32 - 100	記憶、極めて集中している

先行研究では、これらの脳波の特徴波形の変化を脳部位ごとに計測し、映像酔い時の特徴抽出を行ったものがあるため3つ紹介する。

1つ目に、Chelen らの研究 [Chelen, 1993]を紹介する。脳波のパワースペクトルを分析することで、酔いによって前頭部と側頭部の  $\delta$  波、 $\theta$  波の平均パワースペクトルが平常時より増加することを明らかにしている。

2つ目に紹介する Yu らの研究 [Chen, 2010]では、VR 上でのドライビングシミュレータを用いて脳波の反応を分析している。実験結果から、VR 映像により被験者の前庭器官を刺激すると、頭頂部の  $\alpha$  波の抑制と、後頭部の  $\theta$  波、 $\delta$  波の上昇が示されたことが述べられている。

3つ目に、Yu らは同様の VR ドライビングシミュレータにて、現実の車の挙動とは異なる動きを再現した VR 映像による実験も行っている [Yi-Hsin, 2010]。VR 酔いの不快感が上昇すると、後頭部と頭頂部の  $\alpha$  波と  $\theta$  波のエネルギーが上昇すると述べている。

また、これらの脳波の反応リストを利用して、Liらの研究において、各脳波リストの認識精度の調査を行っている。Liらの研究では、8箇所から得た脳波データをウェーブレットパケット変換によって各特殊波形のエネルギーの割合比を算出することでVR酔いを認識するための特徴ベクトルを求めている。また、k-NNやサポートベクターマシン等の学習アルゴリズムを用いて認識精度の向上を行っており、VR酔いの認識について86-95%と高い精度を示していた。そこで、本研究でも高い精度が記されていた脳波の反応を参考にしてVR映像視聴中の脳波と比較を行い、反応リストの条件がどのタイミングで一致するのか調査を行う。

### 3. 提案手法

#### 3.1 概要

本研究では、VR利用者の脳波とVR空間内のカメラの移動情報を計測し、カメラの揺れ等の演出があるVR映像を視聴した際にどのようなタイミングで脳波の反応が現れるのかを分析する。

利用する映像としては、Oculusベストプラクティス [Oculus, 2015]内で解説されているVR映像の制作時に推奨されていないカメラの動作を再現する。一方で、被験者の頭は動かさず、ヘッドマウントディスプレイも台座に固定する。この手法を取ることによって、VR映像では映像が動いていることが感じられるが、現実では動いていないという感覚の不一致を再現する。

VRを視聴している際の脳波の分析については、先行研究においてLiが実験で利用した脳波の反応リストを参考に、記録した脳波データと比較を行い、反応が起きたタイミングを調査する。

#### 3.2 分析で取り扱うVR酔いの状況

市販されているVR映像には、利用者が自ら動くことでCG空間を移動する映像、ジェットコースターや自動車等の乗り物に乗っている映像等、種類は多岐にわたる。そのため、VR映像の内容や被験者の視聴環境を限定する必要がある。本研究では、脳波計を使用するにあたり、計測時にノイズ等が混入しない状況で実験を行うことで分析への悪影響を最小限に抑えることが必要だと考えられた。また、VR利用者がヘッドマウントディスプレイやコントローラ等を操作してしまうと、利用者が動いたことで脳波が反応したのか、VRの映像内容に対して脳波が反応したのか判断することが困難になると考えられた。以上の点を考慮して、本研究では被験者を可能な範囲で動かさないような状況でVR映像を視聴した際の影響のみを用いて分析を行う。

#### 3.3 提案システム

本提案手法であるVR映像の脳波の特徴が現れるタイミングの分析を行うために、VR酔いを再現するためのVR環境の構築と分析に必要なデータを収集するシステム、記録した脳波からVR酔い時の反応を分析するためのシステムの二つを開発した。

##### 3.3.1 データの収集

VR利用中の被験者の脳波データ、VR映像のカメラの動きを記録するためのシステムを構築した。収集するデータの一覧を表2に示す。

表2 収集するデータの一覧

種類	詳細
脳波	脳部位ごとに特殊波形を計算
カメラの座標	VR空間内のカメラの3次元座標
ペダルの入力	被験者が不快に感じたタイミングの記録

脳波データは脳部位ごとに記録を行う。センサを取り付ける脳部位の箇所については、前頭部、頭頂部、側頭部、後頭部の4箇所に左右一つずつ取り付け計8箇所のセンサで計測を行う。各センサから電気信号のデータを取得した後は、分析に利用するデータである $\alpha$ 波や $\beta$ 波などの特殊波形に変換する。各特殊波形の周波数帯の定義については表2.1で記述している帯域と同様の数値で計算を行った。脳波データの計算には時間がかかるため、秒間約2フレームで更新が行われる。その際にごくわずかに更新時期が前後することがある。そのため、データ更新が行われた時間をタイムスタンプとして同時に記録している。

VR映像を表示しているカメラの移動情報も脳波と同時に記録を行う。移動情報のデータの更新は秒間約90回行われており、脳波データと同様にタイムスタンプの記録も行っている。

被験者の足元にペダルを設置し、VR視聴中に不快に感じたタイミングでペダルを踏んでもらう。こうすることで、VR映像のどのタイミングで被験者が不快に感じているかの目安として、脳波との関連性を調査することが可能になると考えられる。使用した機材であるハンドル型コントローラの「LogicoolG29」にはアクセルペダル、ブレーキペダル、クラッチペダルの3つが付属しているが、踏んだ際の抵抗力の少なさ、ヘッドマウントディスプレイを被っている状況でも踏み間違えない位置にあるという点を考慮して、本手法ではアクセルペダルを利用する。ペダルの入力データに関しても、脳波データ、移動情報と同様にタイムスタンプを同時に記録する。

##### 3.3.2 データの分析

分析システムでは、記録した脳波がVR酔い時の反応リストと一致するタイミングを分析する。分析システムの処

理の流れを以下に示す。

1. 記録システムで保存した平常時の脳波データと VR 映像視聴時の脳波データの二つのファイルを読み込み、全てのセンサの各種特殊波形データを取得する。
2. 脳波の反応リストの比較に必要なデータを計算で算出する。
3. 脳波の反応リストと比較を行い、該当する箇所を記録する。

二つ目の「脳波の反応リストの比較に必要なデータを計算で算出する。」に関しては、脳波の反応リストとの比較に利用するデータの準備として以下の処理を行っている。

- 各特殊波形データに対してフーリエ変換を実行、パワースペクトルを計算し、VR 映像視聴時のパワースペクトルと平常時のパワースペクトルの差分を計算する。
- パワースペクトルの平均値を求める。

三つ目の反応リストの比較では、前述の 2.3 節で解説した Chelen [Chelen, 1993], Yu ら [Chen, 2010] [Yi-Hsin, 2010] の研究にて得られた脳波の反応リストをそれぞれパターン 1, パターン 2, パターン 3 とし、それぞれのパターンの条件と一致する部分を分析する。該当した場合は、箇所のフレームと実際の記録時間(タイムスタンプ)を保存する。また、一つの脳波の反応リストが複数の条件で構成されているものは、一つずつ条件を満たした箇所、全ての条件を満たした箇所、どれか一つでも条件を満たした箇所をそれぞれ記録する。脳波リストと一致する箇所を記録した後は、時系列での VR 映像の移動変化やペダルの入力のタイミング、SSQ などと組み合わせて考察を行う。

## 4. 実験

### 4.1 実験環境

実験では、被験者に脳波計とヘッドマウントディスプレイを装着させ、VR 映像視聴中の脳波を記録した。被験者に対しては事前に VR やその他の CG 映像の視聴経験の有無を調査し、脳波の計測前に実験の流れを十分に説明した上で実験を行った。実験後、得られたデータを用いて VR 映像視聴時の脳波の反応について分析を行った。

実験環境は被験者ごとの不要なばらつきを防ぐため、可能な限り同時刻同環境で実施する。また、同一被験者には一日に一つの VR 映像を視聴させ、複数パターンの VR 映像を視聴させる場合は別日に実施した。

### 4.2 実験映像

実験では、以下の図 4.1, 図 4.2 で示す 2 つの VR 酔いを再現した映像を利用した。

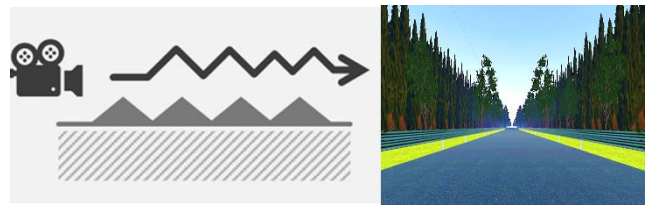


図 4.1 凹凸のある道の映像の動き方と実際の VR 映像



図 4.2 カメラが地面にバウンドする映像の動き方と実際の VR 映像

### 4.3 実験手順

実験は以下の手順で行った。

1. 実験の事前説明、当日の体調の確認
2. 被験者に合わせたヘッドマウントディスプレイ内のレンズの瞳孔間距離の調整
3. 平常時の脳波の計測
4. VR 酔いを再現した映像視聴時の脳波の計測
5. 実験後の体調の確認

実験を始める前に説明と体調確認をした後、被験者に合わせた機材の調整を行った。一回目の脳波の記録では、平常時の脳波を記録した。脳波を計測する際に物音を立てると、被験者に話しかける等の外部から被験者に刺激を与えてしまうと脳波に影響を及ぼす可能性があったため、可能な限り静かな環境で計測を行った。計測中の視線については、周辺環境のものや景色を眺めてしまうことや、目を閉じたままだと眠気を誘発することで脳波に影響を与えてしまうことが考えられたため、ヘッドマウントディスプレイ内に計測中の画面を表示し、視聴させた。平常時に被験者に視聴させた映像を以下の図 5.4 に示す。



図 4.3 平常時の脳波の計測時に表示している VR 映像

実験後には被験者の体調が実験によりどのように変化したのかを SSQ を利用して評価を行った。

## 5. 実験結果

実験には、2つの VR 映像に5名ずつ参加し、合計10個の実験データを記録した。

### 5.1 VR 映像視聴後のアンケート結果について

実験後に行った SSQ の平均スコアの結果について以下の表 3 に示す。

表 3 VR 映像視聴後の SSQ のスコア結果

VR 映像	悪心	眼精疲労	失見当識	総合
凹凸のある道を前進する映像	5.72	7.58	11.14	8.98
急に上下の加速度が切り替わる映像	17.17	24.26	13.92	22.44

結果から、急に上下の加速度が切り替わる映像の方が全体的に高いスコアを記録したことがわかった。

また、実験後のアンケートにて、凹凸のある道を前進する映像に対して、

- それほど映像が揺れなかったため、何も問題なかった
- カメラが地面にバウンドする映像に比べて気持ち悪さを感じなかった

という意見が得られ、もう一つのカメラが地面にバウンドする映像では、

- あくびが出た
- バウンドするのに合わせて視点をうまく合わせたため、気持ち悪さに耐えることができた

という意見が得られた。

### 5.2 VR 映像視聴時のペダル入力について

VR 映像を視聴している際に不快に感じたタイミングで踏んだペダルの入力結果を以下の図 5.1, 図 5.2 に示す。なお、横軸は記録したフレーム、グラフ中の青色の線は VR 映像の上下の移動変化量、赤い範囲の部分は被験者がペダルを少しでも踏んでいた範囲を表している。

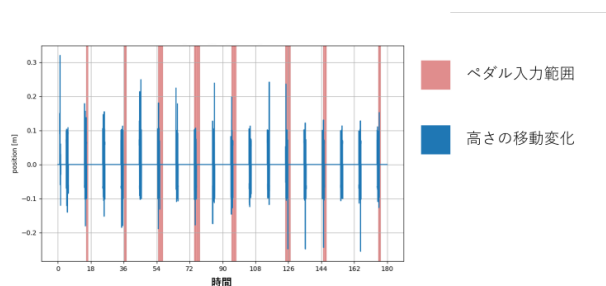


図 5.1 凹凸のある道を前進する映像でのペダル入力の変化

化

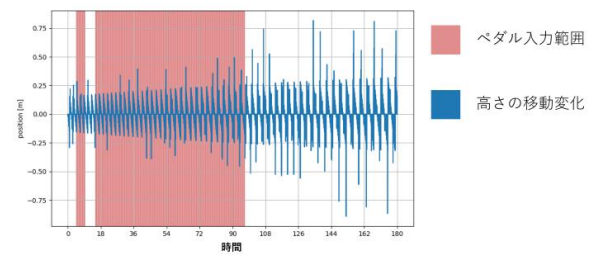


図 5.2 カメラが地面にバウンドする映像を視聴時の被験者のペダル入力の変化

凹凸のある道の映像ではカメラが上下に揺れている箇所が多く踏まれていた。しかし、あまりペダルの入力を強めに踏まれていないことや踏まずに計測を終了した被験者も一定数存在したことから、この映像ではそれほど不快に感じなかったということがわかった。このことは SSQ のスコア結果の内容と一致している。

もう一つのカメラが地面にバウンドする映像では、先述の凹凸のある道の映像に比べ多くの箇所でも踏まれていた。また、バウンドした瞬間だけでなくしばらくの間入力が続いていることがわかった。このことから、凹凸のある道の映像は瞬間的に不快感を生じさせる映像、カメラが地面にバウンドする映像は不快感が生じるとしばらく持続する映像であることがわかる。一方で、後半になるとペダルを踏むことがなくなっていることもわかった。この点については、実験後に、無意識に酔わないで済むように目をそらし、視線を動いている方向に合わせるようにしたとの意見が上がっていたことと、映像の動き自体が上下にバウンドしつづけるものであったため映像自体に慣れた結果踏まなくなったことが原因と考えられる。

### 5.3 VR 映像の動きの変化と脳波の反応リストと一致した範囲の比較

時間経過によるカメラの移動変化と脳波が反応リストと一致したタイミングを同時に表示させたものを以下の図 5.3, 図 5.4 に示す。

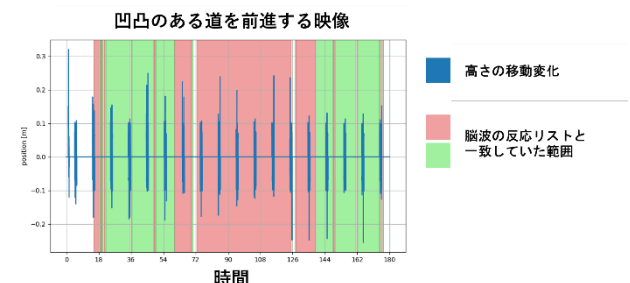


図 5.3 凹凸のある道を前進する映像での脳波の反応リストの範囲と VR 映像の移動変化の比較



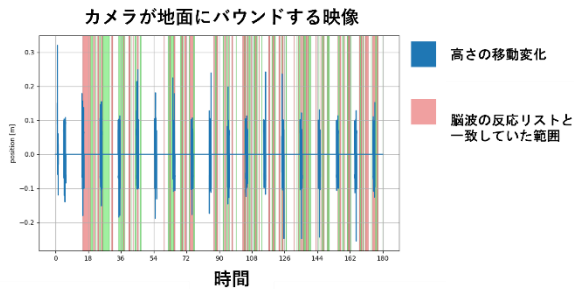


図 5.4 カメラが地面にバウンドする映像での脳波の反応リストの範囲と VR 映像の移動変化の比較

グラフより、凹凸のある道を前進する映像では、一旦脳波のリストと一致するとしばらく反応が続くことがわかる。一方で、カメラが地面にバウンドする映像では、脳波の反応リストが反応している期間が短くなっている。また、高頻度で脳波の反応リストとの一致、不一致を繰り返すような結果が得られた。

### 5.4 脳波が脳波リストと一致した範囲の表示

記録した脳波が反応リストと一致した時間がどのように増えていったのかを以下の図 5.11 に示す。図中の3つのグラフのうち、左上がパターン1、右上がパターン2、左下がパターン3である。グラフ中の横軸が時間、縦軸が脳波の反応リストと一致していた時間、赤線が脳波の反応リストと一致していた時間の合計が時間変化でどのように増加していったのかを示している。

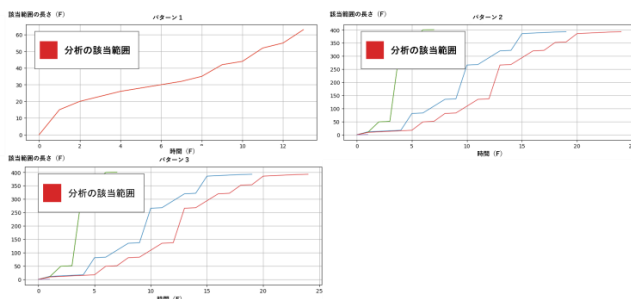


図 5.5 時間経過による脳波の反応が現れた時間帯の変化

時間経過による脳波の反応範囲の長さ変化については、グラフより、

1. 初期に非常に大きな値を出力した後、一旦値が落ち着き、しばらく経つと再び値が上昇しはじめる
2. 初期は落ち着いているが、途中で値が大きく上昇した後、しばらく経つと再び値の上昇が落ち着く

の2つの変化の仕方を読み取ることができた。

1つ目の変化の仕方に関しては、実験後の被験者からの意見で、映像を見ているうちに慣れてきたという意見がある点やペダル入力が前半に多く行われていた点等を考慮すると、前半は VR 映像に慣れていないため、脳波の反応も比較的強めに起きる、途中から VR 映像に慣れ始め、VR 映

像の動きを予測できるようになったため、脳波の反応が落ち着き始める、後半は順応しきったが、これまでの不快感が蓄積されているため、再び脳波の反応範囲も広がってきていると考えられた。

2つ目の変化の仕方に関しては、ペダル入力やアンケートの意見等より、VR 映像に慣れ始めた時に起こる脳が適応しようと反応しているため脳波の反応リストが途中から急激に伸びたのではないかと考えられた。

また、実験で得られたすべてのデータにおいて、2つの反応の仕方のうちどちらかの反応が現れる結果となっていた。パターン1では1つ目の変化の仕方、パターン2では2つ目の変化の仕方であることが多かったが、反応の仕方の分類に法則性を確認するには至らなかったため、今後データ数を増やす等の対策が必要である。

## 6. まとめ

### 6.1 結論

本研究では、VR 利用者の脳波と VR 空間内のカメラの移動情報を取得し、カメラの揺れ等の演出がある VR 映像を視聴した際にどのようなタイミングで脳波の反応が現れるのか分析を行った。実験結果から、VR 映像の視聴中、時間経過で脳波の反応が見られる範囲が大きく変化していることがわかった。また、実験に利用した映像の移動変化のタイミングと脳波の反応が見られるタイミング、被験者が不快に感じたタイミングの分析により、反応があらわれるタイミングを考察することができた。

### 6.2 今後の課題

実験と考察を通して得られた改善点や今後取り組むべき課題として、以下の3つが挙げられる。

1つ目は、実験環境の改善である。2つの VR 映像のうち1つは、SSQ のスコアが低く算出されており、本研究で分析したい脳波の反応があまり検出できなかったのではないかと考えられた。また、今回の実験環境では VR 映像の視聴が長引くと無意識に酔わないように目線をずらしたりした場合でも、その状態を検知できない。そのため、実験で利用した映像の演出の度合いの調整と、目線の動き等の脳波やペダル以外で被験者が無意識に行う反応を調査する手法を追加することで、より精度の高い脳波の特徴の分析が行えると考えられる。

2つ目は、VR 映像視聴後の脳波の変化の計測である。今回の実験では実験後の脳波を計測しなかったため、映像視聴後から平常時に移行する際の脳波の変化を分析するには至らなかった。映像酔いでは視聴後の影響で平衡失調などが生じる可能性があることが言われているため、VR 酔いの分析においても実験後の被験者の状態を観察することで、視聴後の脳波の特徴も考察範囲に含めていくことが望まし

いと考えられる。

3つ目は、被験者が動く場合の分析への応用である。現在の市販されている VR アプリケーションでは、被験者が動いて利用するものが主流となっているため、動いた場合の状況でも分析することで、本研究の分析システムの汎用性を高めることができると考えられる。現状では、被験者が動いてしまうと装着している脳波計のセンサとヘッドマウントディスプレイが接触しノイズが混入してしまう恐れがあった。また、記録した脳波が反応リストと一致した場合に、感覚の不一致に陥った原因の特定が VR 映像の演出なのか、被験者が動いたことが原因なのか判断することが困難であった。この二つの問題点を解決することができれば、被験者が動く状況下でも本研究のシステムが利用できると考えられる。現在では、VR と脳波計を不具合なく動作させることのできる機器が実用化される段階には至っていないが、将来脳波センサやヘッドマウントディスプレイの小型化が進めば、より精度の良い分析が行えると考えられる。

## 参考文献

- [1] Chelenand Kabrisky, MATTHEW and Rogers, SKWE. (1993). Spectral analysis of the electroencephalographic response to motion sickness. *Aviation, space, and environmental medicine*, 64(1), 24-29.
- [2] Chenand Duann, Jeng-Ren and Chuang, Shang-Wen and Lin, Chun-Ling and Ko, Li-Wei and Jung, Tzyy-Ping and Lin, Chin-TengYu-Chieh. (2010). Spatial and temporal EEG dynamics of motion sickness. *NeuroImage*, 49(3), 2862--2870.
- [3] KennedyS and Lane, Norman E and Berbaum, Kevin S and Lilienthal, Michael GRobert. (1993). Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The international journal of aviation psychology*, 3(3), 203--220.
- [4] Oculus. (2015). Oculus ベストプラクティス. 参照先: <http://static.oculus.com/documentation/pdfs/ja-jp/intro-vr/latest/bp.pdf>
- [5] Yi-Hsinand Pei-Chen, L. and Li-Wei, K. and Chun-Hsiang, C. and Bor-Chen, K. and Chin-Teng, L.Y. (2010). The 2010 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2010). *IEEE*, 1-6.