



---

# 卒業研究報告書

令和元年度

---

研究題目

脳波による画面酔い時の状態計測

---

指導教員 上野秀剛 准教授

---

氏名 田村優次郎

---

令和2年1月30日 提出

奈良工業高等専門学校 情報工学科

# 脳波による画面酔い時の

## 状態計測

上野研究室 田村優次郎

画面酔いは3次元の映像を見た際にめまいや吐き気、眼精疲労などの症状が発生することを表し、映像技術が発達した現在避けられない問題である。画面酔いは脳の特定の部位での活動に関連しており、脳活動を計測する装置であるfMRIを用いた様々な研究がなされている。脳波(electroencephalography:EEG)は人の脳活動を容易に測定する手法として様々な研究分野で用いられる。本研究では画面酔い時の脳波を測定し、通常時の脳活動からの変化を検出する事を目的とする。被験者実験では1)画面酔いしやすい動画と、2)しにくい動画を視聴させ、視聴中の脳波を計測する。視聴後のアンケートで被験者を酔ったグループと酔わなかったグループに識別する。計測した脳波及びそのスペクトログラムを用いて酔ったグループと酔わなかったグループでの2つの動画視聴時の脳活動の変化を比較する。指標として脳波及びそのスペクトログラムの $\alpha$ 波成分、 $\beta$ 波成分の半球間相関を用いる。実験の結果、酔ったグループでの2つの動画視聴時の $\beta$ 波成分の半球間相関の変化は有意に低く、脳波が画面酔いを検出する指標となる可能性が示唆された。

# 目次

<b>1</b>	<b>はじめに</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>画面酔いと脳波</b>	<b>3</b>
2.1	画面酔い時の脳活動	3
2.2	脳波	4
2.2.1	計測方法	4
2.2.2	周波数特性	6
2.3	脳波を用いた動画酔いの計測	6
<b>3</b>	<b>実験</b>	<b>7</b>
3.1	実験手順	7
3.2	環境	8
3.3	動画	9
3.4	アンケート	10
3.5	脳波計測と分析	11
<b>4</b>	<b>結果と考察</b>	<b>13</b>
4.1	結果と結論	13
4.2	動画種類とSSQスコア	13
4.3	SSQスコアと脳活動の相関	13
4.4	SSQスコアの差分と脳活動の相関	14
<b>5</b>	<b>おわりに</b>	<b>20</b>
	謝辞	21
	参考文献	22

# 1 はじめに

船や車に乗った際にめまいや吐き気，眼精疲労などの症状が発生することを乗り物酔い(動揺病)という[14]. 画面酔いは3次元の映像を見た際に動揺病と同じ症状を伴う現象であり，PCやスマートフォンなどの映像デバイスが日常に必要不可欠となった現代において，無視できない問題である．しかし，現在でも未解決な問題であり，バーチャル・リアリティ(VR)においても画面酔いはより深刻な問題となっている[13]. 画面酔いは従来，アンケートや口頭などでしか検出できない．定量的な検出方法がなければ画面酔いの重症度を正確に測れず，画面酔いを抑える有効な方法を特定できない．そのため画面酔いを定量的に検出する技術は，VR技術の発展に大きく貢献できると考えられる．

脳活動は画面酔いと大きく関連があると考えられ，さまざまな研究者がfMRIによる脳活動の計測によって，画面酔い時に一部の脳領域での活動が活発になることを示している[2][7]. そのため一部の脳活動を計測することで画面酔いを検出できるといえる．しかしfMRIによる計測中は一切体を動かすことができない．そのため，使用に体動を要するVRでの画面酔いを解決するための研究実験に適していない．一方，脳波の計測は体もある程度動かしながら計測可能である．加えてfMRIは数億円かかる機材であり，多人数の被験者を用いた研究に適していない．大して脳波の計測はfMRIと比べて数十数百万円の機材ですみ，複数用意することも可能である．そのため脳波によって画面酔いを検出することができれば，VR使用時の画面酔いの検出法として有用と考えられる．

本研究では脳波によって脳領域の一つであるMT+野を測定することで画面酔いを検出できるかを調査する．

MT+野は視覚や運動に関連する部位であり，画面酔い時にはMT+野の脳活動が半球間でズレが生じることを脳科学の分野で示している．MT+野は脳の外側に位置し，MT+野の脳波を計測する研究もなされている．そのため脳波測定でも十分MT+野の脳活動を測定できると考えられる．

## 2 画面酔いと脳波

### 2.1 画面酔い時の脳活動

画面酔いは映像視聴時にめまい・ふらつき・頭痛・冷汗・悪心が生じる生理的現象である [13].

Ellisらは様々な仮想環境で画面酔いが生じることを確認している [10]. 大野らはヘッドマウントディスプレイを利用してゲームを行った時に画面酔いの症状が通常のディスプレイより有意に多く生じたことを確認している [11]. Hettingerらは画面酔いの前に、脳が動画によって引き起こされる脳の錯覚 (vection) が生じることが多いことを示している [1]. Vectionは動画を見たときに自己運動を錯覚する現象であり、この視覚による動きの錯覚と前庭系などから提供される動きが矛盾を引き起こし、画面酔いが生じると考えられている.

画面酔い時における脳活動を計測している研究が多数存在する. WallらはfMRIを用いてvection時に最も活性化する脳部位を調査している [7]. 被験者がvectionを引き起こす動画を視聴した時の脳活動を計測する実験によって、視覚情報の処理に関連する脳領域が活性化したことを示している.

MiyazakiらはfMRIを用いてMT+野と呼ばれる脳部位の活動と、vection及び画面酔いの関連性を調査している [2]. 図1[12]の赤色の部位がMT+野である. MT+野は人間の動きに敏感な部位であり、vection時に脳活動の半球左右差がみられている [3]. Miyazakiらの研究はvectionを引き起こす動画を視聴し、vectionや画面酔いが発生したときのMT+野での脳活動において、半球間相関が減少することを示している.

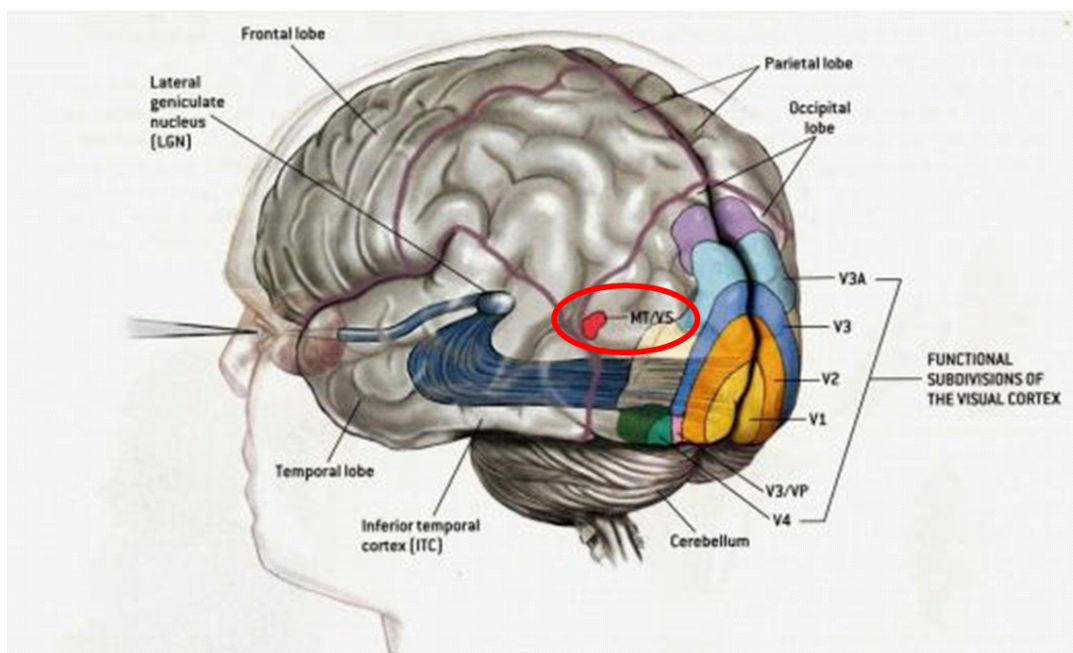


図 1: MT+野

## 2.2 脳波

頭皮上に発生した電場の時間変化を脳波 (electroencephalography: EEG) という [5].

脳波は人の脳を非侵略的かつ容易に測定できる手法として様々な研究分野で使用されている。満倉らは小型の脳波計測機で人の感性を所得できる環境を構築し、脳波からストレス状態を検知するシステムを提案している [15]。好き、嫌いなどの、人間の感性を対象に、パターン認識手法で被験者の各感性と脳波の関係を推定し、脳波の 11Hz のと 16Hz の周波数成分が同時に増加することが人間の“嫌”という状態を表すことを明らかにした。

脳波はてんかんと呼ばれる脳の症状を診断する手法としても用いられる [6]。てんかんの発症時に脳波を測定することで棘波と呼ばれる異常な波が発生することが確認されている。

上記のように脳波は人間の状態を測定するための指標として用いるのに適した要素であり、画面酔い時も脳波に何らかの変化を生じると考えられる。

### 2.2.1 計測方法

脳波は頭皮上に装着した 2 つの電極の電位差として記録する。

電極の設置には図 2 に示す国際式 10-20 電極法 [6] を利用する。図 2 に指定された装着位置に従って電極は配置される。すべての装着位置に電極を配置する必要は

無く，研究目的によって電極の配置を決定する．電極の装着時には，接着面を安定させるため電解質のペースト状の電極糊を頭皮に塗りその上に電極を配置する．

脳波の導出法には主に基準電極導出法と双極導出法の2種類がある．基準電極導出法は脳表面の電場内に装着した電極と，電場外に装着した基準電極，2つの電極間の電位差を計測する．双極導出法は電場内に2つの電極を装着し，その2つの電極間の電位差を計測する．一般的に脳波には，脳の限局した領域に発生する要素と比較的に広範囲から同様に記録される要素がある．双極導出法において，2つの電極間隔が狭い場合，広範囲に同様に記録される要素は2つの電極に同じように記録されるので，計測時に相殺されてしまう．そのため計測する電極の電極間隔が狭い場合は基準電極導出法を，同様に記録される要素を除去し，部位差を強調したいときは双極導出法が望ましい．

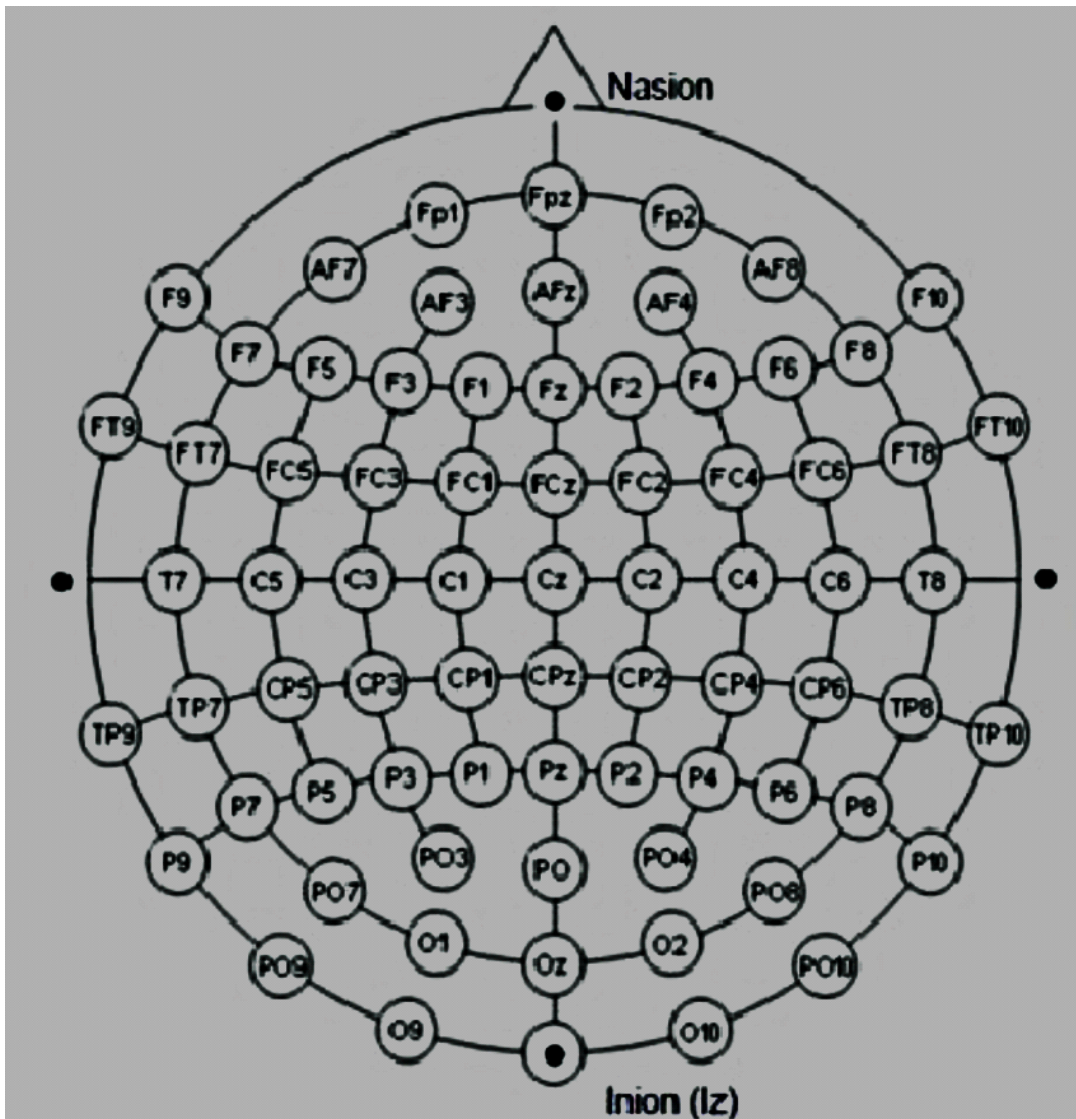


図 2: 10-20 電極法

## 2.2.2 周波数特性

脳波による計測には主に電位差の周波数が用いられ、さまざまな周波数帯域がある [6]. 周波数帯域は国際脳波学会によって分類され、各帯域の名称は以下の通りである.

- $\delta$  波: 0.5~4Hz
- $\theta$  波: 4~8Hz
- $\alpha$  波: 8~14Hz
- $\beta$  波: 14~30Hz
- $\gamma$  波: 30Hz 以上

$\delta$  波及び  $\theta$  波は睡眠状態時に強く出現する.  $\alpha$  波は安静状態時に強く表れ、目を閉じリラックスしたり、何かに没頭したりするときに強く出現する.  $\alpha$  波は覚醒時は連続して表れるが覚醒の低下すると不連続となる. また緊張状態や不快な状態にあるとき  $\alpha$  波は減少し、 $\beta$  波が出現する.  $\gamma$  波は、不安や興奮状態のときに出現する.

## 2.3 脳波を用いた動画酔いの計測

前述の通り脳波は頭皮上に生じる電圧を計測するため、脳血流を計測する fMRI と比べて、脳の内側の部位の脳活動を観測するのに適していない. しかし、MT+野は図 1 のように脳の外側に存在する部位であり脳波でも十分計測可能だと考えられる. Giuseppe らは脳表面の 10-20 法に基づいた位置から MT+野を刺激し、運動知覚の改善に成功している [4].

MT+野の脳活動を脳波によって計測することができるならば、画面酔い時の MT+野の変化を検出できると考えられる.

本研究では Miyazaki らが示唆した MT+野での脳活動の変化を脳波で検出することで、脳波が画面酔いの検出する手法として有用かどうかを調べる.

脳波の計測は fMRI と比べて体のある程度動かしながら計測可能である. 上野らはソフトウェア利用時の脳波を測定することで、ユーザビリティの評価に用いる人間の心理状態を定量的かつ客観的に評価している [9]. また脳波の計測は fMRI と比べて低価格の機材ですみ、複数用意することも可能である. そのため脳波によって画面酔いを検出することができれば、VR 使用時の画面酔いの検出法として有用と考えられる.

しかし、画面酔い時の脳活動を脳波で計測する研究はこれまでなされていない. 本研究は画面酔いの脳活動による検出の実用化に大きな可能性を示している.



### 3 実験

脳波が画面酔いを検出できるか評価するため、被験者に画面酔いを起こしやすい動画と起こしにくい動画を視聴してもらい、画面酔い時の脳波の変化を計測する実験を行う。

#### 3.1 実験手順

実験の手順を以下に示す。

##### 1. 実験説明・準備

実験の流れを説明し、脳波計測時の注意を行う。

##### 2. 装置の設定

脳のMT+野に相当する部位及び両耳に電極をつけ、脳波計測装置の設定を行う。脳波が正常に取れているかを確認するために、閉眼安静状態の脳波を計測する。

##### 3. タスクの実施

画面酔いを起こしやすい動画、起こしにくい動画2つの動画を6分間表示し、視聴時の動画を計測する。すべての被験者は2つの動画を画面酔いを起こしにくい動画、起こしやすい動画の順に視聴する。

##### 4. 休憩

動画の前後（計3回）には5分間の休憩を取る。休憩時、被験者はディスプレイに表示された灰色の画面を注視してもらう。

##### 5. アンケートの回答

視聴及び休憩後（計5回）にアンケートを実施し、被験者の酔いの尺度を推定する。

実験のタイムテーブルを図3に示す。

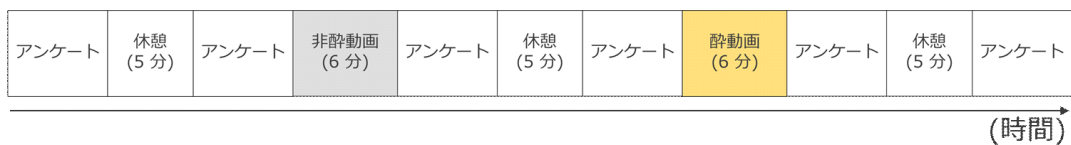


図3: 実験のタイムテーブル

### 3.2 環境

実験は被験者1名と実験者1名のみが居る静かな部屋で実施する。図4に計測時の被験者の様子を示す。体動によるノイズを抑えるために、ひじ掛けを備えた椅子に座り、頭部と体をできるだけ動かさないように指示する。実験に使用するのは、脳波計測装置、動画表示用PC、動画表示用ディスプレイ、脳波計測用PCである。

脳波計測装置には図5に示すナノテックイメージ社製 NeXus-10 MARK II を用いる。計測装置の計測周期は 256Hz であり、計測された脳波は Bluetooth 経由で脳波計測用 PC に転送され、1-45Hz の周波数の脳波のデータが CSV ファイル形式で出力される。

表示用のディスプレイとして 17.3 インチ及び 49 インチのディスプレイを用いた。17.3 インチの場合は画面から 30cm、49 インチの場合は 80 cm 程度目が離れた場所に被験者を配置し実験を行った。



図 4: 計測時の被験者



図 5: NeXus-10 MARK II

### 3.3 動画

実験に使用する動画は，Miyazakiら [2] の用いた動画のサンプル2点と自作した動画2点の計4点である．Miyazakiらの酔いやすい動画と酔いにくい動画を，それぞれ図6aと図6bに示す．酔いやすい動画は，カメラマウントとステッピングモーターからなる特別なジグを使用して，ハンドカートに取り付けられた移動ビデオカメラで撮影された．動画撮影中にビデオカメラをステッピングモータで軸の周りに $60^\circ/\text{s}$ で回転させると，ハンドカートが部屋を蛇行し，ハンドカートの移動による並進成分と回転成分の両方が発生する．画面酔いを引き起こすvectionは1つの光の並進や回転を注視することによって自身が動いたと錯覚することで発生する．vectionを引き起こす要素である並進成分と回転成分を持つシーンを視聴させることで被験者の画面酔いを誘発する．

Miyazakiらの酔いにくい動画は，上記の酔いやすい動画を縮小し8行8列の64パネルに並べた動画を用いる．動画中に複数の光がある場合，動きの錯覚に矛盾が生じ，vectionは発生しにくくなる [7]．本研究でもこの動画を比較対象となる酔いにくい動画として用いる．上記の動画2つはいずれも約10秒の長さで，実験では繰り返し再生する．

自作した酔いやすい動画と酔いにくい動画を，それぞれ図7aと図7bに示す．自作した動画はドローンの飛行映像を編集したもので，並進成分と回転成分を持つシーンから構成される酔いやすい動画と，縮小し8行8列の64パネルに並べた，酔いにくい動画を用いる．上記の動画2つはいずれも約3分の長さで，実験では繰り返し再生する．



Miyazakiら[2]の動画は7人の被験者に対して酔いやすい動画と酔いにくい動画として利用した。その後、より画面酔いをしやすくするため自作した動画で6人の被験者に対し実験を行った。

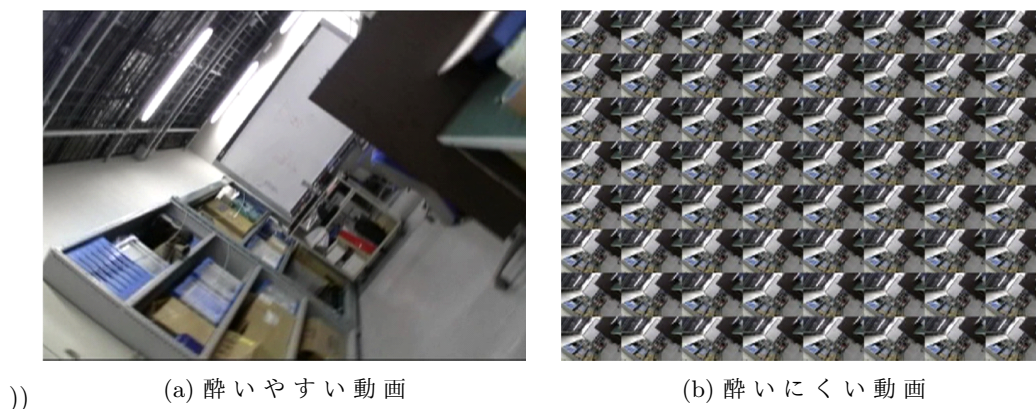


図 6: Miyazakiらの作成した動画

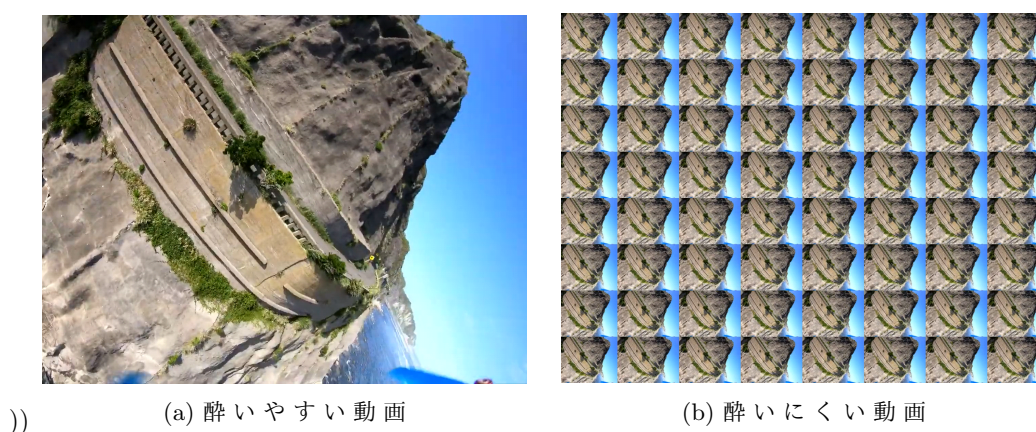


図 7: 自身で作成した動画

### 3.4 アンケート

SSQ(Simulator sickness questionnaire) アンケートは画面酔いの尺度を測るために作られたアンケートである[8]。

被験者が各動画を視聴したことでどれだけ酔ったのか評価するために表1で示すSSQアンケートを用いる。SSQアンケートは16項目の体調に関する4段階評価(0,1,2,3)によって画面酔いの程度を評価する[8]。SSQアンケートは気持ち悪さ(Nausea), 眼精疲労(Oculomotor), めまい(Disorientation)という3つのクラスをもち, 3つのクラスのスコアは16項目の質問にそれぞれ設定された表1で示す重みによって決められる。SSQアンケートのトータルスコア(以後, SSQスコア)は3つのクラスのスコアの総和に3.74を掛けて算出される。

本研究ではSSQスコアに基づいて被験者を順位付けし、画面酔いをしたグループとしなかったグループに区別する。

表 1: SSQ アンケート

質問事項	Nausea	Oculomotor	Disorientation	評価
全体的に気分がよくない	o	o		0,1,2,3
疲れた		o		0,1,2,3
頭痛がする		o		0,1,2,3
目が疲れた		o		0,1,2,3
目の焦点が合わない		o	o	0,1,2,3
唾がよく出る	o			0,1,2,3
汗が出ている	o			0,1,2,3
吐き気がする	o		o	0,1,2,3
集中できない	o	o		0,1,2,3
頭がぼうっとする			o	0,1,2,3
視界がぼやける		o	o	0,1,2,3
目を開けているとふらふらする			o	0,1,2,3
目を閉じているとふらふらする			o	0,1,2,3
ぐるぐるとしためまいがする			o	0,1,2,3
胃に違和感がある	o			0,1,2,3
げっぷが出る	o			0,1,2,3

### 3.5 脳波計測と分析

計測に用いる電極は、グラウンド電極を右耳(図2のA2)とし、左耳(図2のA1)を基準電極とした基準電極導出法を用いる。計測用電極は図2のp4, p3, po10, po9の4点とする。これらはそれぞれの各半球のMT+野に対応する部位となる[4]。

本研究では6分間の動画2種類を視聴したときの脳波を分析対象とする。計測した脳波を短時間フーリエ変換(SFTF)にかけ、周波数成分の時間分析であるスペクトログラムを求める。求めたスペクトログラムから $\alpha$ 波の周波数成分と $\beta$ 波の周波数成分を抽出し、それぞれの要素量の時系列変化を求める。

図8に解析した $\alpha$ 波の周波数成分と $\beta$ 波の周波数成分の例を示す。縦軸は $\alpha$ 波または $\beta$ 波に属する周波数のパワーの総和、横軸は時間を表す。図8からある時間における $\alpha$ 波または $\beta$ 波のパワースペクトル(以後、 $\alpha$ 波成分、 $\beta$ 波成分)が観測できる。

計測した脳波及びスペクトログラムを用いて、p4とp3、およびpo10とpo9間の時間相関を求める。アンケートによって分けられた2つのグループごとに2つの動画間での脳波要素の半球間相関の変化を観察する。

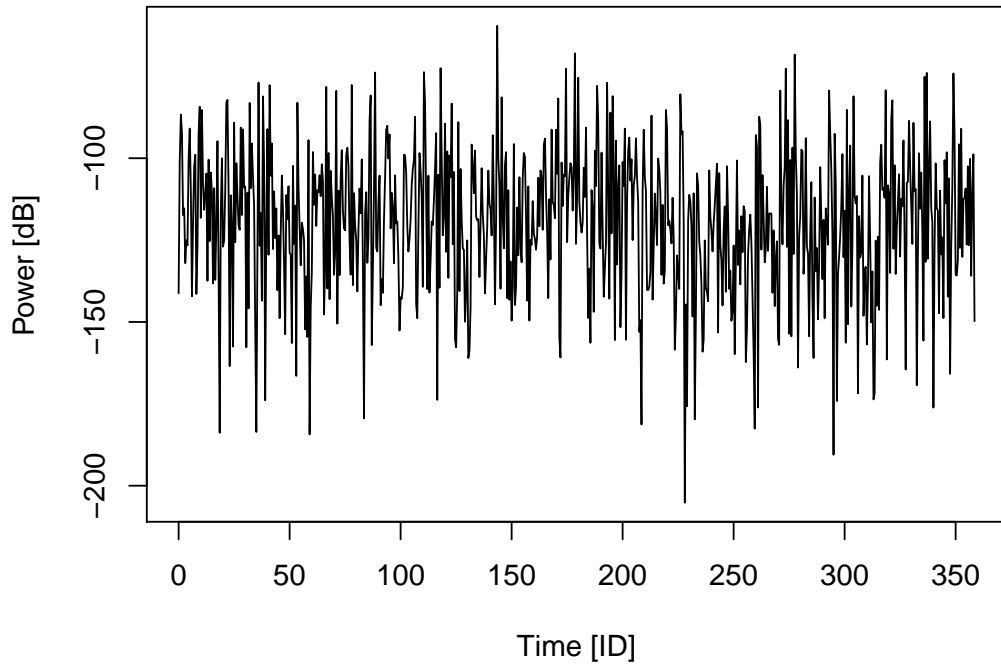


図 8: スペクトログラムの出力例

## 4 結果と考察

### 4.1 結果と結論

実験結果から  $po10 \sim po9$  間の  $\beta$  波成分で2つのグループに有意な差が生じた。健康なグループ(以後, グループ<sub>健康</sub>)は  $\beta$  波成分の半球間相関が画面酔いを起こす動画視聴時は増加した。対して酔ったグループ(以後, グループ<sub>酔い</sub>)では半球間相関が減少した。このことから脳波の  $\beta$  波成分は画面酔いに関連し, 画面酔いの検出に適していることを示唆している。

### 4.2 動画種類とSSQスコア

酔いにくい動画を視聴した後の被験者のSSQスコア(以後, 非酔い<sub>SSQ</sub>)及び酔いやすい動画を視聴した後の被験者のSSQスコア(以後, 酔い<sub>SSQ</sub>)を図9に示す。図9のようにすべての被験者が酔わない動画に比べ酔う動画を視聴した時のSSQスコアが上昇した。このことからすべての被験者が酔う動画視聴時に酔いのある程度感じ, 使用した動画は酔いにくい動画, 酔いやすい動画として適切であったといえる。

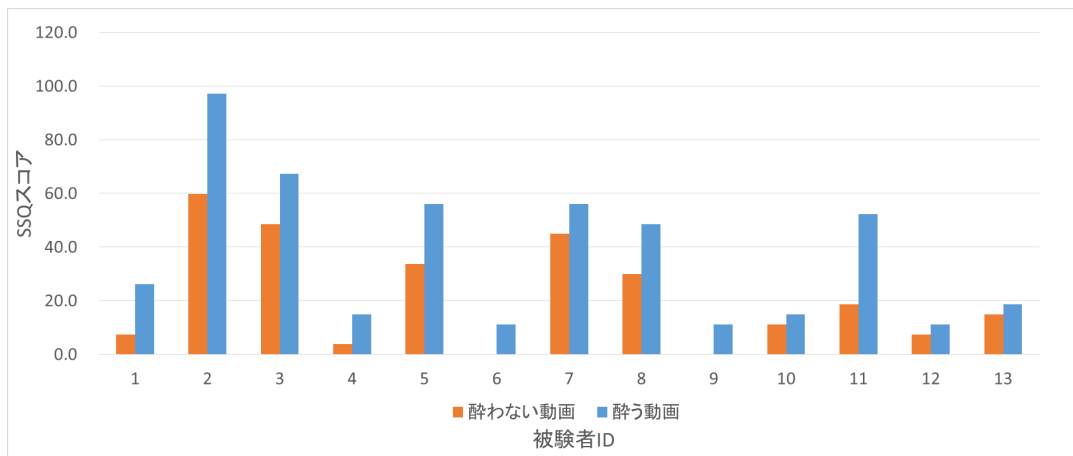


図9: 各被験者のSSQスコア

### 4.3 SSQスコアと脳活動の相関

酔い<sub>SSQ</sub>によって被験者をグループ<sub>酔い</sub>, グループ<sub>健康</sub>に分け, 画面酔いを起こしやすい動画視聴中の  $p4 \sim p3$  間,  $po10 \sim po9$  間の脳波(以後, 酔い<sub>eeg</sub>),  $\alpha$  波成分(以後, 酔い <sub>$\alpha$</sub> ),  $\beta$  波成分(以後, 酔い <sub>$\beta$</sub> ), 3つの要素の半球間相関のグループごとの平均, 分散, 有意差を表2に示す。有意差は2つのグループの半球間相関をWelchの両側t検定を用いて検定したp値を表す。p値が0.05以下の時2つのグループに有意な差があるといえる。半球間相関が高いほど半球間の脳活動が同期している。

表2よりp4~p3間では，酔い<sub>eeG</sub>，酔い<sub>α</sub>，酔い<sub>β</sub>のすべてでグループ間平均がグループ酔いのほうが大きい．またグループ健康はグループ酔いに比べ分散値が大きく，個人差が大きいと考えられる．酔い<sub>eeG</sub>，酔い<sub>α</sub>，酔い<sub>β</sub>での2つのグループの半球間相関をWelchの両側t検定を用いて検定したところどの要素でも有意な差はみられなかった．

表2よりpo10~po9間では，酔い<sub>eeG</sub>，酔い<sub>α</sub>，酔い<sub>β</sub>のすべてでグループ間平均がグループ酔いのほうが小さい．またグループ健康はグループ酔いに比べ分散値が大きく，個人差が大きいと考えられる．酔い<sub>eeG</sub>，酔い<sub>α</sub>，酔い<sub>β</sub>での2つのグループの半球間相関をWelchの両側t検定を用いて検定したところどの要素でも有意な差はみられなかった．

p4~p3間,po10~po9間も両方で酔い<sub>eeG</sub>，酔い<sub>α</sub>，酔い<sub>β</sub>のすべてで有意差はみられず，画面酔いを起こしやすい動画を視聴中はグループ酔いとグループ健康の間に半球間相関の明確な違いが見られなかった．

表2: 酔う動画視聴時の半球間相関のグループごとの結果表

測定点	要素	グループ	平均	分散	有意差(p)
p4~p3間	酔い <sub>eeG</sub>	グループ酔い	0.735	0.0019	0.626
		グループ健康	0.704	0.0199	
	酔い <sub>α</sub>	グループ酔い	0.645	0.0029	0.697
		グループ健康	0.614	0.0314	
	酔い <sub>β</sub>	グループ酔い	0.572	0.0041	0.810
		グループ健康	0.552	0.0378	
po10~po9間	酔い <sub>eeG</sub>	グループ酔い	0.533	0.0048	0.598
		グループ健康	0.563	0.0135	
	酔い <sub>α</sub>	グループ酔い	0.383	0.0055	0.424
		グループ健康	0.445	0.0265	
	酔い <sub>β</sub>	グループ酔い	0.291	0.0068	0.364
		グループ健康	0.360	0.0245	

#### 4.4 SSQスコアの差分と脳活動の相関

前節において，画面酔いを起こしやすい動画のみを用いた分析では結果が出なかった理由として，脳波の個人差が大きく，半球間相関も被験者ごとに大きく違うことが考えられる．また図9より非酔い<sub>SSQ</sub>がすでに高く，酔い<sub>SSQ</sub>の変化が少ない被験者らが存在することがわかる．この被験者らは画面酔いとは別の要因で酔いを感じており，脳活動の変化が現れなかったと考えられる．

本節では画面酔いを起こしにくい動画視聴時から画面酔いを起こしやすい動画視聴時で半球間相関がどれだけ変化したのかを分析する．非酔い<sub>SSQ</sub>と酔い<sub>SSQ</sub>の差分によって被験者をグループ酔い，グループ健康に分け，2つの動画視聴中のp4



～p3間の脳波， $\alpha$ 波成分， $\beta$ 波成分，3つの要素の半球間相関の差分(以後，差分 $_{eeg}$ ，差分 $_{\alpha}$ ，差分 $_{\beta}$ )を図10に，po10～po9間の差分 $_{eeg}$ ，差分 $_{\alpha}$ ，差分 $_{\beta}$ を図11に示す。図の横軸は各被験者を表し，縦軸は2つの動画の半球間相関の差分を表す。差分が高いほど酔った動画を視聴した時に酔わない動画を視聴した時と比べて半球間相関が増加していることを表す。

図10のグループ $_{酔い}$ をみるとp4～p3間では酔い $_{eeg}$ ，酔い $_{\alpha}$ ，酔い $_{\beta}$ のすべてで，一部の被験者の半球間相関の減少が見られる。しかし，すべての要素で0.3を超える半球間相関の異常な増加がグループ $_{酔い}$ の一人の被験者にみられる

脳波(以後，酔い $_{eeg}$ )， $\alpha$ 波成分(以後，酔い $_{\alpha}$ )， $\beta$ 波成分(以後，酔い $_{\beta}$ )の半球間相関差分に対してグループごとの平均，分散，有意差を表3に示す。有意差は2つのグループの半球間相関をWelchの両側t検定を用いて検定したp値を表す。p値が0.05以下の時2つのグループに有意な差があるといえる。

表3よりp4～p3間では，酔い $_{eeg}$ ，酔い $_{\alpha}$ ，酔い $_{\beta}$ のすべてでグループ間平均がグループ $_{酔い}$ のほうが大きい。またグループ $_{酔い}$ はグループ $_{健康}$ に比べ分散値が大きく，最大値と最小値の差が大きいため個人差が大きいと考えられる。2つのグループでの2つの動画の半球間相関の差分についてWelchの両側t検定を用いて検定したところp4～p3間の酔い $_{eeg}$ ，酔い $_{\alpha}$ ，酔い $_{\beta}$ のすべてで有意な差はみられなかった。

実験結果から一部のグループ $_{酔い}$ の被験者で半球間相関の減少を確認したにもかかわらずp4～p3間の相関では変化を観測することはできなかった。脳波は近い部位であればあるほど似たような活動をするのでpo10～po9に比べ互いに近い位置にあるp4～p3では相関の違いを観測できなかったと考えられる。

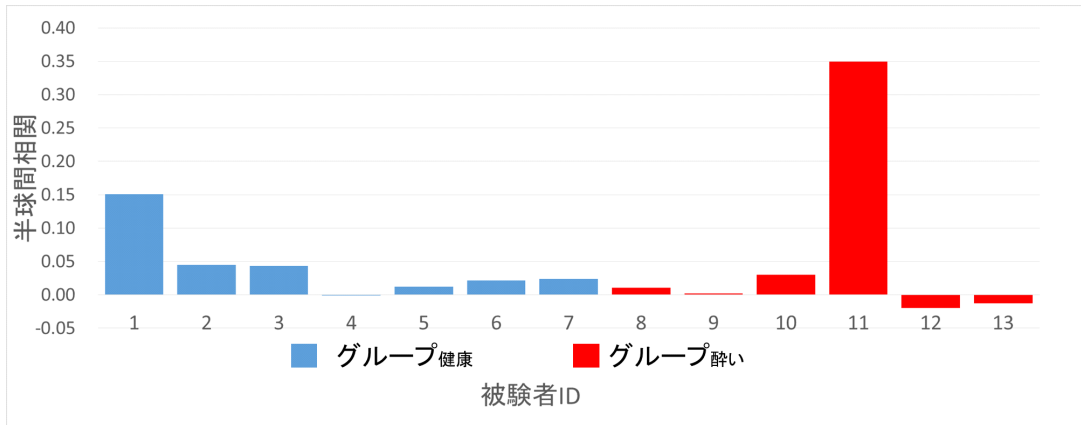
図11のグループ $_{酔い}$ をみるとpo10～po9間では酔い $_{eeg}$ ，酔い $_{\alpha}$ ，酔い $_{\beta}$ のすべてで，一部の被験者の半球間相関の減少が見られる。

表3よりpo10～po9間では，酔い $_{eeg}$ ，酔い $_{\alpha}$ ，酔い $_{\beta}$ のすべてでグループ間平均がグループ $_{酔い}$ のほうが小さい。またグループ $_{酔い}$ はグループ $_{健康}$ に比べ分散値が大きく，個人差が大きいと考えられる。2つのグループでの2つの動画の半球間相関の差分についてWelchの両側t検定を用いて検定したところpo10～po9間の酔い $_{\beta}$ で有意に減少した。

これは画面酔いを引き起こした人の $\beta$ 波成分の半球間相関の増加は引き起こさなかった人と比べて低いことを表し，画面酔いの指標として適していることを示唆している。

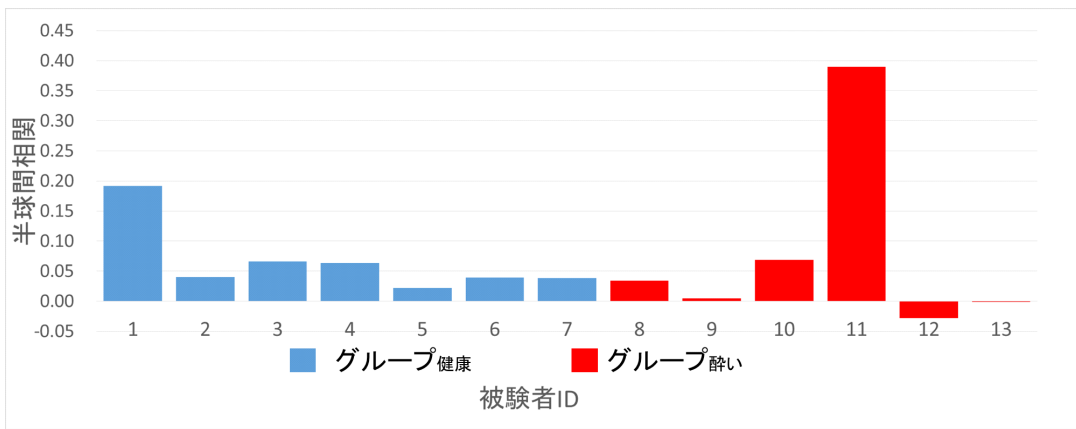
実験結果からの非酔い $_{SSQ}$ と酔い $_{SSQ}$ の変化が小さいグループ(グループ $_{健康}$ )は酔いやすい動画視聴時のpo10～po9間の差分 $_{\beta}$ が平均的に増大していた。それに対し，トータルスコアの変化が大きいグループ(グループ $_{酔い}$ )における差分 $_{\beta}$ は有意に低く，平均的には減少していることがわかった。 $\beta$ 波成分は不快時に強く表れる要素であり，酔いにくい動画視聴時にはあまり現れなかったと考えられる。酔いやすい動画を視聴したことでその要素が強くなり，グループ $_{健康}$ では酔いにく

い動画に比べ相関が上昇したと考えられる。しかし、グループ酔いでは2.1節で示した脳活動の半球間相関の減少が生じ、相関が上昇せず減少したと考えられる。 $\alpha$ 成分は不快時には減少する傾向があり、 $\beta$ 波成分とは対照的に酔いやすい動画を視聴したことで要素が弱くなったと考えられる。そのため差分 $\alpha$ では有意な変化を観測できなかったと考えられる。脳波計測装置は脳表面から生じる電位差だけでなく、体動などによる筋肉の動きによって生じる電位差も取得してしまう。そのため脳波そのものでも有意な変化を観測できなかったと考えられる。

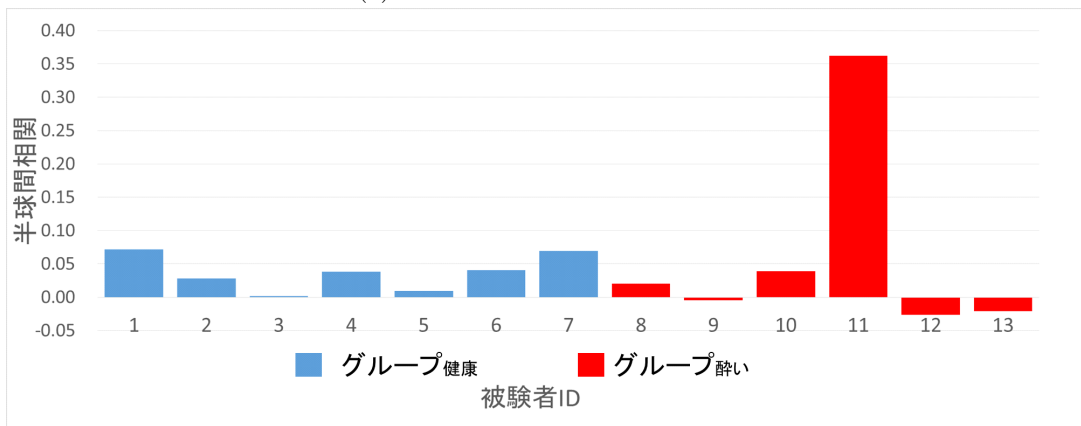


))

(a) 脳波の半球間相関



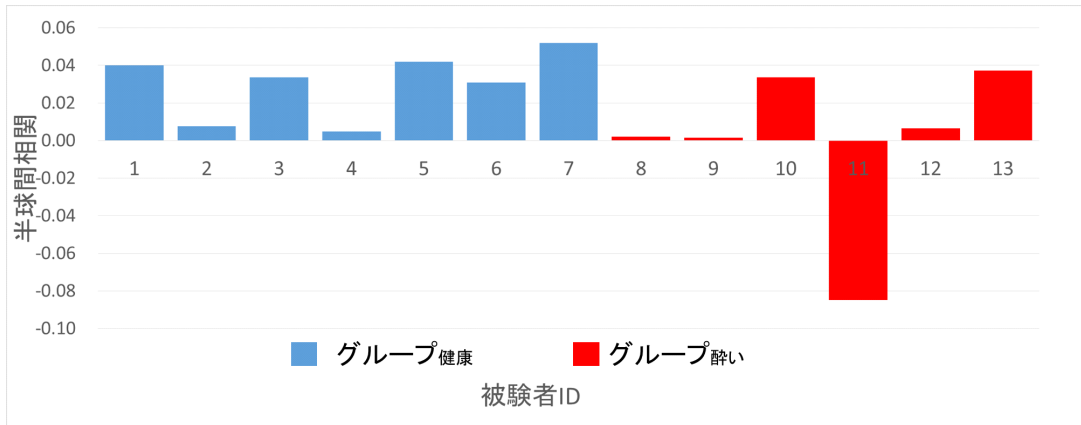
(b)  $\alpha$  波成分の半球間相関



))

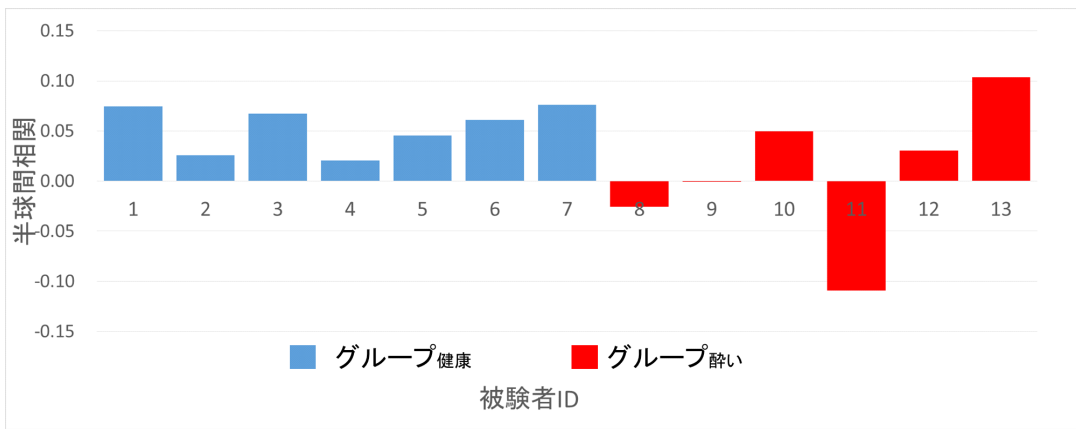
(c)  $\beta$  波成分の半球間相関

図 10: SSQ スコアの差分でグループ分けした p4~p3 間の脳波の半球間相関の変化

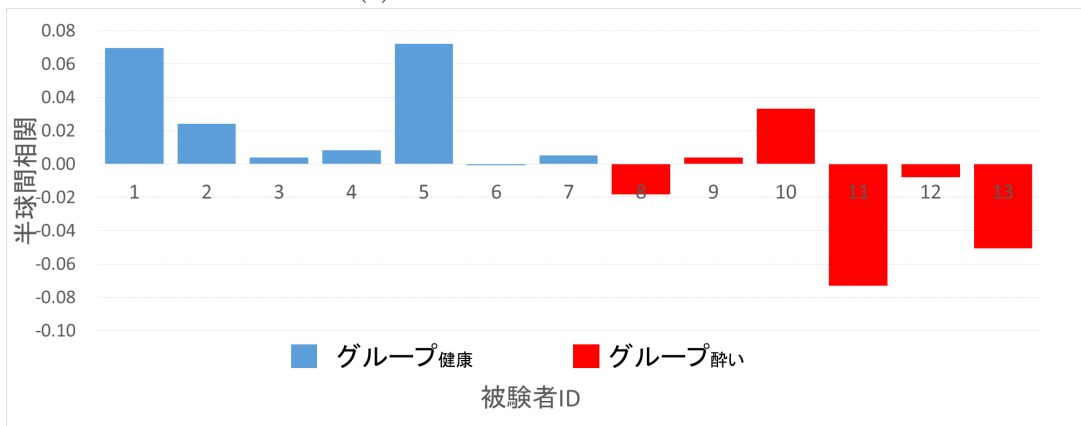


))

(a) 脳波の半球間相関



(b)  $\alpha$  波成分の半球間相関



))

(c)  $\beta$  波成分の半球間相関

図 11: SSQ スコアの差分でグループ分けした po10~po9 間の脳波の半球間相関の変化

表 3: 差分の半球間相関のグループごとの結果表

測定点	要素	グループ	平均	分散	有意差 (p)
p4~p3 間	酔い <sub>eeG</sub>	グループ <sub>酔い</sub>	0.0600	0.0205	0.783
		グループ <sub>健康</sub>	0.0422	0.00254	
	酔い <sub>α</sub>	グループ <sub>酔い</sub>	0.0778	0.0245	0.867
		グループ <sub>健康</sub>	0.0660	0.00331	
	酔い <sub>β</sub>	グループ <sub>酔い</sub>	0.0616	0.0223	0.708
		グループ <sub>健康</sub>	0.0371	0.000726	
po10~po9 間	酔い <sub>eeG</sub>	グループ <sub>酔い</sub>	-0.000729	0.00195	0.160
		グループ <sub>健康</sub>	0.0301	0.000311	
	酔い <sub>α</sub>	グループ <sub>酔い</sub>	0.00809	0.00526	0.196
		グループ <sub>健康</sub>	0.0529	0.000523	
	酔い <sub>β</sub>	グループ <sub>酔い</sub>	-0.0188	0.00145	0.0456
		グループ <sub>健康</sub>	0.0260	0.000996	

## 5 おわりに

本研究は画面酔いを検出する方法として脳波による脳活動の変化に着目し、被験者実験による評価を行った。実験では酔いやすい動画と酔いにくい動画を被験者に視聴してもらい、酔った被験者と酔わなかった被験者の脳波を比較した。実験の結果、グループ<sub>酔い</sub>の po10-po9 間で  $\beta$  波成分の半球間相関の変化がグループ<sub>健康</sub>より有意に低かった。この結果は  $\beta$  波成分の半球間相関が画面酔いを検出する指標となりえることを示唆している。

本研究の今後の発展として、画面酔いの尺度を推定する従来の計測方法との比較があげられる。

本実験では MT+野での脳波要素と画面酔いの関連を示唆することが出来た。今後、具体的な検出基準や、検出精度の程度を推定することで、画面酔いを容易かつ、定量的に検出する指標として脳波が使用できるようになると考えられる。

具体的には、画面酔い検出に用いられる SSQ アンケートと脳波の半球間相関を比較することで脳波でどのように画面酔いを検出するか、脳波による画面酔い検出が実用可能な精度となるかを確認できると考えられる。また実際の環境に近い状態での脳波計測があげられる。脳波測定装置と VR デバイスを同時に着用して使用できる環境を構築することで、VR 利用時の脳波が VR による画面酔いの尺度の推定に有効か確認できると考えられる。

## 謝辞

本論文の執筆及び研究を進めるにあたって、多くの方々に協力していただきました。指導教員である上野准教授には、研究に対するアドバイス、論文のレビューなど様々な面でご指導をいただきました。松尾教授には査読教員として多くの指摘をいただきました。また14名の学生が貴重な時間を割いて被験者実験に参加してくださいました。本研究に協力していただいた皆様、ありがとうございます。

## 参考文献

- [1] Hettlinger LJ, Berbaum KS, Kennedy RS, Dunlap WP, “Nolan MD Vection and simulator sickness”, *Mil Psychol*, Vol.2, No.3, pp.171-181 (1990).
- [2] Miyazaki Jungo, Yamamoto Hiroki, “Inter-hemispheric desynchronization of the human MT+ during visually induced motion sickness”, *Experimental Brain Research*, Vol.233, No.8, pp.2421-2431 (2015).
- [3] Kovacs G, Raabe M, Greenlee MW, “Neural correlates of visually induced self-motion illusion in depth”, *Cereb Cortex*, Vol.18, No.8, pp.1779-1787 (2008).
- [4] Giuseppe A Zito, Theresa Senti, Dario Cazzoli, “Cathodal HD-tDCS on the right V5 improves motion perception in humans”, *Front Behav Neurosci*, Vol.9, No.257 (2015).
- [5] 音茂龍司, 辻貞敏, “よくわかる脳波判読第3版”, 金原出版株式会社 (2015).
- [6] 村上郁也, “イラストレクチャー認知神経科学”, 株式会社オーム社 (2013).
- [7] Wall MB, Smith AT, “The representation of egomotion in the human brain.” *Curr Biol* 18, pp.191-194 (2008).
- [8] Kennedy RS, Lane NE, Berbaum KS, Lilienthal MG, “Simulator sickness questionnaire: an enhanced method for quantifying simulator sickness”, *Int J Aviat Psychol*, Vol.3, No.3, pp.203-220 (1993).
- [9] 上野秀剛, 石田響子, 松田侑子, 福嶋祥太, “脳波を利用したソフトウェアユーザビリティの評価-異なるバージョン間における周波数成分の比較”, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol.10, No.2, pp.233-242 (2008).
- [10] Ellis SR, “Nature and origins of virtual environments: a bibliographical essay. ”, *Comput Syst Eng*, Vol.2, No.4, pp.321-347 (1991).
- [11] 大野さちこ, 鵜飼一彦, “Head Mounted Displayをゲームに使用して生じる動揺病の自覚評価”, *映像情報メディア学会誌*, Vol.54, No.6, pp.887-891 (2000).
- [12] NK Logothetis. Vision, “A window on consciousness” *Scientific American*, Vol.281, pp.44-51, (1999).
- [13] 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*, Vol.42, No.3, pp.200-211, (2006).
- [14] Griffin MJ, “Handbook of human vibration”, Academic Press, London (1990).
- [15] 満倉靖恵, “脳はウソをつかないー脳波で判るあなたの真実ー”; *日本耳鼻咽喉科学会会報*, Vol.118, No.4, pp.461-465 (2015).