

映像観視中のリアルタイムな映像酔い予測のための 重心動揺指標の適用可能可否検討

笹山琴由^{†1†2} 五味田啓^{†1} 加藤嘉明^{†1} 城和貴^{†2}

概要: 大画面で高精細な映像を観視するとき、映像酔いという不快な症状が生じることがある。われわれは、体の揺れ(重心動揺)から映像酔い発症の予兆を検知し、注意喚起するシステムの開発を目指している。本稿では、その第一歩として、映像観視前後の測定値の比較で酔い検知の有効性が確認されている既存の重心動揺の指標を用いて、その時系列変化の傾向を調査した。具体的には、映像観視中に、主観評価が変化したタイミングを被験者によるボタン押下で取得し、その直前2分間と1分間の値の変化に有意差があるかを調べた。実験の結果、全ての指標において有意差があるとは認められなかった。今回の結果からは、映像観視中のリアルタイムな重心動揺測定では、どの指標も単体では酔いの予兆検知に使用するの難しいことが示唆された。

キーワード: 映像酔い, 重心動揺

Examination of applicability of body sway parameter for real-time prediction of visually induced motion sickness during video viewing

KOTOYU SASAYAMA^{†1†2} KEI GOMITA^{†1}
YOSHIAKI KATO^{†1} KAZUKI JOE^{†2}

Abstract: When viewing high-definition video on a large screen, an unpleasant symptom of visually induced motion sickness may occur. We are aiming to develop a system that detects signs of onset of motion sickness from body sway and alerts them. In this paper, as the first step, we investigated the tendency of time series changes using the existing parameter of gravity, which has been confirmed to be effective in detecting sickness by comparing measured values before and after video viewing. Specifically, the timing when the subjective evaluation changed during video viewing was obtained by pressing a button by the subject, and it was examined whether there was a significant difference in the change in the value for 2 minutes immediately before that. As a result of the experiment, it was not recognized that there was a significant difference in all parameters. This result suggests that it is difficult to use only one parameter to detect signs of sickness in real-time measurement of body sway during video viewing.

Keywords: Visually Induced Motion Sickness(VIMS), Postural sway

1. はじめに

大画面で高精細な表示機器の普及により、臨場感のある映像を手軽に楽しむことが可能になった。一方で、映像観視時に発生する光感受性発作・映像酔い・眼精疲労などの体調不良が問題となっている。このうち映像酔いは、めまい・顔面蒼白・唾液の増加・吐き気など、乗り物酔いと似た不快症状が発生する状態である[1]。映像酔いが生じると、体調不良により作業パフォーマンスが低下するため、ユーザが主観的に「酔った」と感じ始める前に注意喚起することが望ましい。従来、映像酔い症状の計測は、主観評価[2][3][4][5]と客観評価[6][7][8]の両方から研究が進められてきた。主観評価は複数項目から成るアンケートへの回答結果を解析する方式が主であり、映像観視という作業を妨げることなくリアルタイムに計測することが困難であった。

一方、客観評価では映像観視中の生体データの計測を行うため、映像観視を妨げることなくリアルタイム計測が可能である。主観的な酔いを感じ始める前には、主観評価に変化が表れないため、主観的な酔いが生じる前に変化が生じる生体データを用いて、酔いの予兆を検知する必要がある。

これまで、生体データを用いて映像酔いを検知するために、脳波[6][8]・胃電図[7]・皮膚コンダクタンス[7]・心拍変動[7][8]による研究がおこなわれてきた。しかし、これらは電極やセンサを被験者の体に装着する必要があり、被験者に負担がかかるという問題があった。一方、体のふらつき(重心動揺)[9][10]は、被験者が重心動揺計の上に乗るだけで測定が可能であり、センサを装着する必要がない。そのため、被験者への負担が少なく、自然な状態で測定が可能である。本稿では、重心動揺を使用する。

視覚情報によって引き起こされる姿勢反応は、視覚誘発姿勢反応(VEPR: Visually Evoked Postural Responses)と呼ばれる[9]。VEPRの発生メカニズムには複数の説があるが、視覚と平衡感覚を一致させるための修正反応であるとする説がある[11]。重心動揺を用いた酔い検知の先行研究[10]で

†1 三菱電機株式会社 情報技術総合研究所
Mitsubishi Electric Corporation Information Technology R&D Center

†2 国立大学法人 奈良女子大学研究院
Nara Women's University

は、映像観視の前後で主観的な酔いと重心動揺を測定し、映像観視後に主観的な酔いを生じたときに、有意な変化があった重心動揺の指標を求め、それを酔いの検知に有効な指標としている。しかし、映像観視中の主観的な酔いと重心動揺を測定していないため、どちらの変化が先に生じるのかを調査できていなかった。もし、重心動揺の変化が主観的な酔いよりも先に生じていれば、重心動揺を酔いの予兆検知として使用できることになる。そこで、本研究では、先行研究[10][11]で酔い検知の有効性が認められた重心動揺の指標を用いて、主観的な酔いが生じたタイミングの直前に、重心動揺に変化が生じているかについて調査する。

重心動揺の酔いの指標は、重心動揺計の検出台に乗った被験者足圧の中心位置の水平・垂直方向の2次元座標の時系列データを、空間領域解析・時間周波数解析して得られるものである。空間領域の解析では、先行研究[10]にて、視覚刺激暴露前と比較して有意差が確認された6つの指標(外周面積、前後左右方向の総軌跡長、前後左右方向の単位軌跡長、左右方向の総軌跡長、前後方向の総軌跡長、体の傾き)のうち、体の傾きを除く5個のパラメータの変化を確認する。なお、先行研究[10]では、3軸のセンサを使っていたが、本実験で使用する重心動揺計では体の傾きを計測できないため除外した。時間周波数解析では、観視時間が長くなるほど映像の周期的な周波数に同期する[11]こと、不随意的な周波数帯(1Hz以上)のスペクトルが増大する[10]こと、を確認する。

また、映像観視中の主観評価の計測は、重心動揺の計測のために視覚刺激を中断することを防ぐため、先行研究で酔いの主観評価として使用されてきた複数項目・複数段階のアンケート形式で回答するものではなく、「ボタン押し」という2値の簡易評価とする。先行研究においても、短時間での回答が可能な一軸評価での主観評価[12][13]が行われてきた。これらは、研究者によって軸や分解能が異なることで、他研究との比較が困難であるという問題があった。そこで、本研究では、「ボタン押し」というリアルタイム主観評価について、先行研究で広く使用されているSSQ[2]という主観評価アンケートと、MSSQ[5]という酔いの感受性評価との比較を行う。

2. 実験方法

2.1 実験環境

酔いを誘発するための表示コンテンツはPC(Windows10, GeForceGTX1080)上で SteamVR, Unity を用いて作成し、Head Mounted Display (HMD)機器である HTC VIVE Pro に60fpsで表示した。リアルタイムの主観評価は、利き手に持った HTC VIVE Pro 付属のコントローラのトラックパッドボタン押下により60Hzで取得した。生体データは、重心動揺を測定した。重心動揺計には、バランスWiiボード(任天堂社製)を用いた。バランスWiiボードはBluetoothでPC

と接続し、PCでは、WiimoteLib[15]を用いて重心位置を100Hzで取得した。バランスWiiボードは安価だが、既存の高価な重心動揺計の精度に劣らず、高い信頼性がある[16]。計測姿勢は、座位よりもふらつきを顕著に検出可能な立位とした。

2.2 手続き

被験者一人当たりの手続きについて記載する。本実験で計測するのは、MSSQ(日本語版 Translated by Konno & Wada)・SSQ・酔いを申告するためのボタン入力、重心動揺である。被験者はMSSQとSSQに回答した後、重心動揺計に裸足で乗り両踵を接触して内側を30度開いた足位(Kapteyn案[17])で自然な静止状態の体勢で立ち、1分間の静止画、10分間の動画を観視する。動画前の静止画には、被験者をVR空間に慣れさせること、静止状態の重心動揺を取得すること、の2つの役割がある。また、仮想環境にて被験者の80%が最初の10分間で酔いを発症したという先行研究[18]を参考に、動画を10分間とした。静止画視聴では目印とするオブジェクトを注視させ、HMDのヘッドホンは開けたままとした。また、動画観視中の注視位置は指定せず、被験者の自由とした。動画観視中は、外部の音を遮断するため、HMDのヘッドホンからホワイトノイズ(サンプリング周波数:44.1kHz, 量子化ビット数:16bit, チャンネル数:1(モノラル))を流した。動画観視中、被験者には酔っている間中、ボタンを押下し続けるタスクを課した。最後にSSQに回答して終了とした。実験の流れを図1に示す。

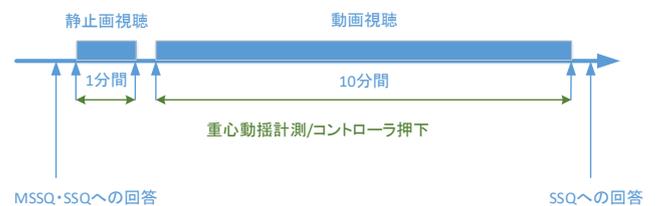


図1 実験の手続き

2.3 視覚刺激

静止画は、中央に目印となる注視点を設けた。動画は、森の中を左右に蛇行しながら前進する正弦波状のグローバルムーションで。周波数は、映像酔いしやすい周波数帯0.2Hz~0.4Hz帯[19]に含まれる、0.2Hzに設定した。動画の1シーンを図2に示す。



図2 動画の1シーン

3. 解析方法

提案するリアルタイム計測可能なボタン押しの評価方法、重心動揺の評価方法について述べる。

3.1 リアルタイム主観評価

60Hz で取得したボタン押下の判定は、重心動揺の周波数に合わせるため、20Hz にダウンサンプリングして使用する。動画観視中に、動画観視開始からボタンを押し始めるまでの経過時間(Latency)と、動画観視中にボタンを押し続けた合計時間(Duration)を算出する。単位は秒とした。その値と既存の主観評価手法である SSQ についてトータルスコアの値との相関係数を求める。酔いの程度がひどく、中断した場合のデータも使用した。この場合、中断後から正規の終了時間までの間、ボタンを押し続けたと仮定した。

3.2 重心動揺

臨床で使用される重心動揺検査は、元来 20Hz でデータ収集されている[14]ため、それを踏襲する。従来研究[11]と同様に、100Hz で取得した重心データをエイリアシングエラーの抑制を目的として 10Hz のローパスフィルタ(バターワースフィルタ)で高周波成分を除去した後、20Hz にダウンサンプリングした。次に、そのデータを用いて、空間領域の解析と、時間周波数の解析を行った。後者では、観視時間を 1 分ごとに区切り、窓関数(Hanning Window)を適用した後、フーリエ変換を行った。出力値(強度)は振幅とした。重心動揺の指標の算出では、一定期間に得られた時系列データを用いる。解析に必要な観測時間は 60 秒間とし、20Hz ごとに直前 60 秒間のデータ(前後方向・左右方向の 2 次元座標値)を用いた。今回解析対象とした指標を表 1 に記す。

表 1 解析対象とした重心動揺の指標

測定指標	観測期間
外周面積(前後左右)	60 秒間
単位軌跡長(前後左右)	60 秒間
総軌跡長(前後左右, 前後, 左右)	60 秒間
0.2Hz の振幅	60 秒間
0Hz-1Hz 帯域の振幅の積分	60 秒間
1Hz-10Hz 帯域の振幅の積分	60 秒間

4. 実験の実施

実験コンテンツにて酔いを誘発できたかを確認した後、リアルタイム主観評価方法と既存手法の相関を確認し、最後に重心動揺の各指標について、時間経過による変化の傾向を調査する。

4.1 被験者

被験者は、これまでに光感受性発作の既往歴のない奈良女子大学に所属する 18 歳から 24 歳の健康な女性 29 名(平均 19.6 歳, 標準偏差 1.5 歳)であった。被験者には、実験の

目的・手順・取得する生体情報の種類・予期される人体への影響などについて十分な説明を行い、書面による事前同意を得た^a。被験者には、実験数日前に実験用コンテンツと類似した動きのコンテンツを観視し、実験方法やコンテンツに慣れてもらった。

4.2 実験コンテンツによる酔い誘発確認

全被験者に対し、SSQ の 4 指標(Nausea, Oculomotor, Disorientation, Total Score)について、対応のある t 検定を行ったところ、全ての指標について有意差($p < 0.001$)が確認された。この結果から、実験コンテンツにより目的通り酔いを誘発できたといえる。結果を図 3 に示す。

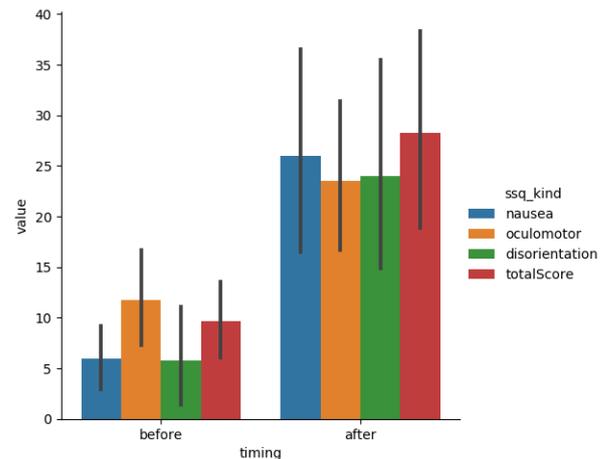


図 3 コンテンツ観視前後の SSQ 値

4.3 リアルタイム主観評価と既存主観評価の比較

被験者には、動画観視中に「酔っている間中ボタンを押し続ける」というタスクを課した。その結果、全被験者 29 名中、13 名が 1 回以上ボタンを押し(Push 層とする)、16 名が 1 回もボタンを押さなかった(NoPush 層とする)。そこで、前者は酔いの感受性が高い層、後者は酔いの感受性が低い層に分類できると考え、既存の酔いの感受性評価手法である MSSQ との関連性を確認した。また、全被験者に対し、SSQ と Latency と Duration にそれぞれ相関があるかを確認した。

(1) Push 層/NoPush 層と MSSQ

MSSQ の 3 指標(MSA・MSB・合計(SUM))について、Push 層と NoPush 層に対し、対応のない t 検定(ウェルチの方法)を行った。その結果、全ての指標で有意差があるとはいえなかった(MSA の p 値 0.18, MSB の p 値 0.54, SUM の p 値 0.28)。結果を図 4 に示す。

^a 本実験は、三菱電機(株)の倫理審査委員会と、奈良女子大学の倫理審査委員会の承認を得て実施した

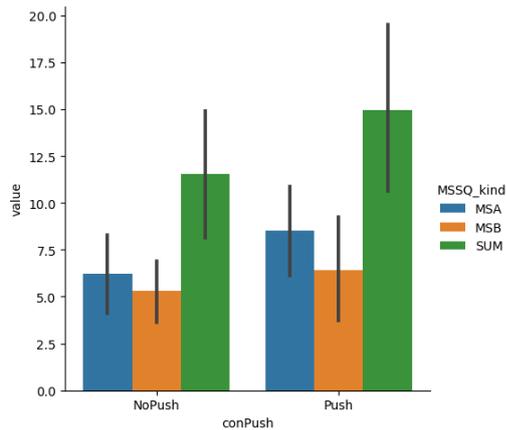


図 4 Push 層/NoPush 層と MSSQ

(2) Latency・Duration と SSQ

全被験者を対象に、Latency・Duration・「実験前後の SSQTotalScore の差(以下 ssq_sum_diff)」について、相関係数を求めた。その結果、Latency と ssq_sum_diff, Duration と ssq_sum_diff, Latency と Duration の相関係数は、それぞれ -0.81, 0.84, -0.96 となり、比較的高い相関があることが確認できた。結果を図 5 に示す。Latency と Duration の相関係数の絶対値が 1 にならないのは、Push 層について、ボタンの押し離しを繰り返す被験者がいたためである。一方、一度押したら押し続ける被験者もいた。Push 層の実験後のアンケートにおいても、「酔ったり酔わなかったりを繰り返して酔いが強くなっていった」、「途中から一気に気持ち悪くなった」という回答があった。また、NoPush 層について、ssq_sum_diff は -25~20 程度と多少のばらつきがあるうえ、2 値では計測できない程度の酔いが発症した人もいたことが分かる。また、Push 層について、ssq_sum_diff は 1 人を除き 20 以上となった。NoPush 層と Push 層の境界は ssq_sum_diff=20 と定めることができるといえる。同様に、SSQ の個別の指標(Nausea, Oculomotor, Disorientation)の実験前後の差と、Latency・Duration の相関係数を求めた。結果を表 2 に記す。

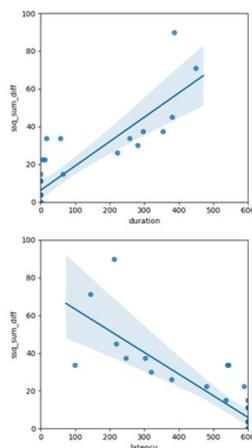


図 5 Latency・Duration と実験前後の SSQTotalScore 差分
 表 2 「SSQ の個別指標の実験前後の差分」と Latency・

Duration の相関係数

	Nausea	Oculomotor	Disorientation
Latency	-0.75	-0.72	-0.78
Duration	0.77	0.76	0.77

4.4 主観評価と重心動揺の変化タイミング

Push 層について表 1 に示す各指標を算出した。以下、各指標の時系列変化の概要について考察した後、主観評価が変化する直前に各指標が変化したかについて述べる。

ある被験者の重心動揺図を図 6 に示す。また、別の被験者の外周面積、前後左右方向の総軌跡長を図 7、総軌跡長・周波数成分について、左右方向の出力値を図 8、前後方向の出力値を図 9、周波数成分と積分値を図 10 に示す。

重心動揺図は開始直後に大きくなり、その後時間経過とともに縮小したが、その後は縮小・拡大を繰り返す傾向がみられた。外周面積の大きさや、縮小するまでの時間には個人差があった。

0.2Hz の成分は増大し、映像のグローバルモーションとの同期が認められたが、その後減少した。0.2Hz 成分の増大は先行文献の考察のとおり、感覚矛盾を解消するための動きと考えられる。0.2Hz 成分の減少については感覚矛盾が解消できなくなり、主観的な酔いが発生したとも考えられるが、0.2Hz 成分の増加・現象のタイミングについては個人差があった。0.2Hz 成分は 0.1Hz 成分・0.3Hz 成分と比較して大きく、全ての時間において、0.1Hz 以下の帯域を除くと 0.2Hz でピークを取ることが多かった。

1Hz 以上の帯域では、複数の極大値があり、突出した極大値は認められなかった。前後方向も同様の傾向だった。先行文献の実験では、VR 空間内で映像を観視しながら被験者が実際に前方向に歩行した後に重心動揺を測定している。本研究では、被験者は映像観視中の静止した立位状態で測定したため、この違いが結果に表れた可能性がある。

主観評価が変化したタイミングより前に重心動揺の指標が変化していたかを調べた。具体的には、各被験者のボタン押下時を基準とし、2 分前(Term1)・1 分前(Term2)・1 分後(Term3)の 3 つの期間(各 1 分間)ごとに、表 1 に示す各指標の値に対し、対応のある t 検定を行った。その結果、Term1 と Term3 の「0Hz-1Hz 帯域の振幅の積分(前後方向)」で p 値=0.091(<0.1)、Term2 と Term3 の前後方向の総軌跡長で p 値=0.094(<0.1)となったが、その他については、有意差があるとはいえなかった。各指標の時系列データ(図 7, 図 8, 図 9)からも、値が拡大し始めてから主観的な酔いを感じ始める人、主観的な酔いを感じ始めてから値が拡大し始める人がいたことがわかる。この結果から、主観評価が変化したボタン押しのタイミングについて、直前の 2 分間では、重心動揺の各指標で酔いの予兆となる変化を確認することはできないとわかった。

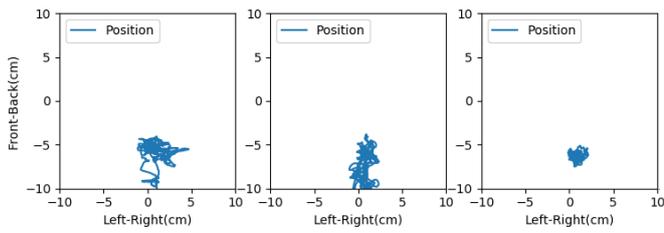


図 6 ある被験者の重心動揺図(開始直後3分間)

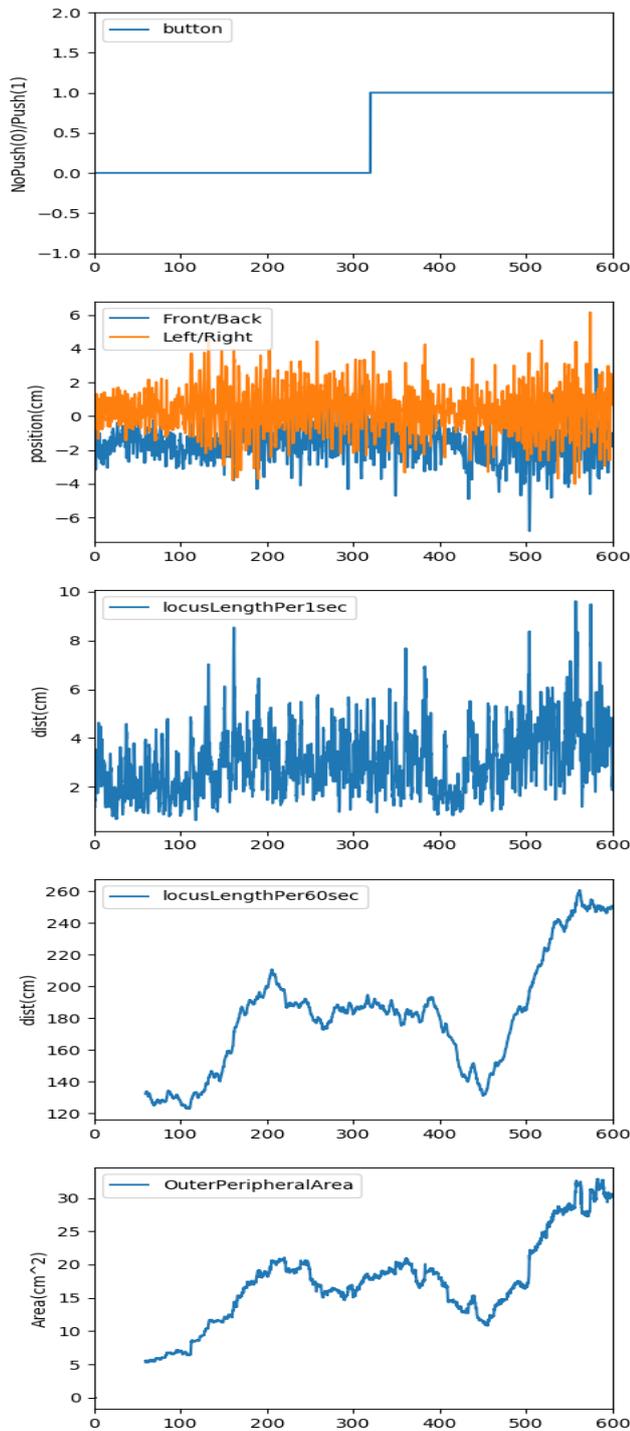


図 7 ある被験者のボタン押しタイミングと総軌跡長・単位軌跡長・外周面積(前後左右方向)

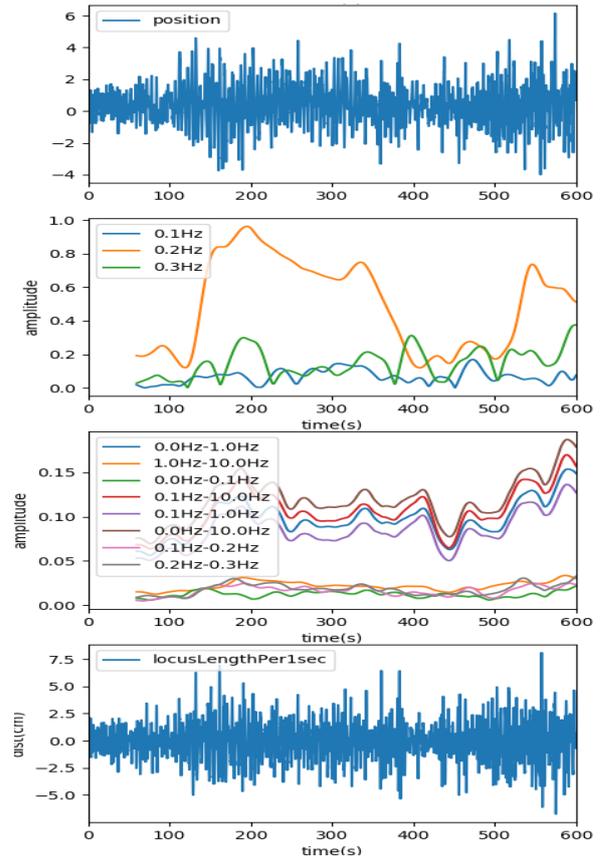


図 8 ある被験者の軌跡長と周波数(左右方向)

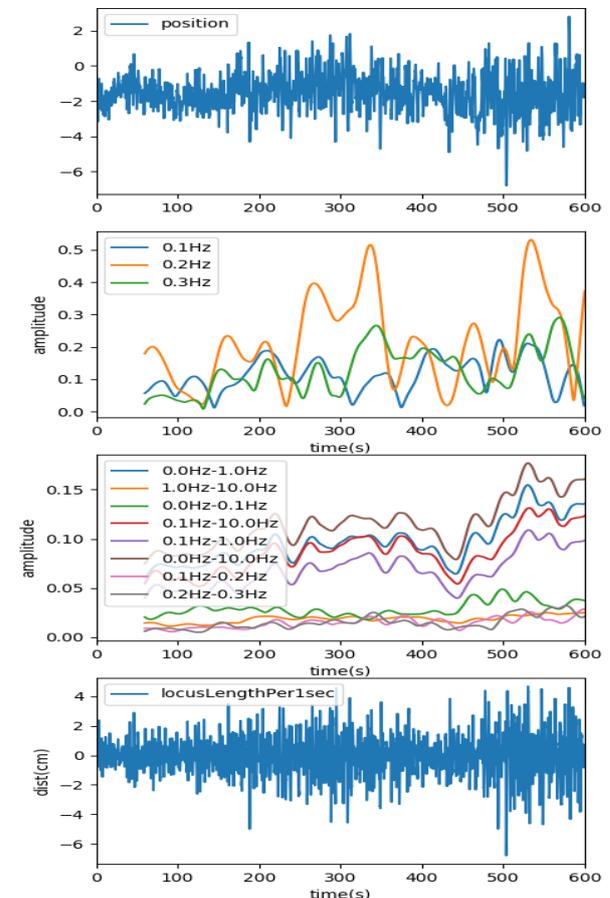


図 9 ある被験者の軌跡長と周波数(前後方向)

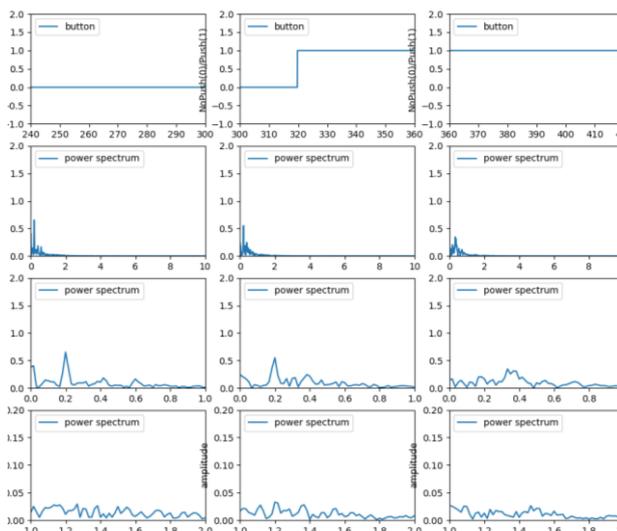


図 10 ある被験者の周波数成分(左右方向)

5. おわりに

重心動揺を用いて映像酔いの予兆を検出するために、酔い始めるタイミングを、ボタン押下により検出した。映像観視を開始してから、ボタンを押し始めるまでの経過時間(Latency)と、酔っている期間(Duration)を算出し、既存のSSQの各指標(Nausea, Oculomotor, Disorientation, Total Score)と高い相関を示したが、酔いの感受性指標であるMSSQとの相関は認められなかった。

つぎに、酔い始める前に生体データの変化が検出できるかを検証した。先行文献で有効とされる重心動揺の酔いの指標について、ボタンを押し始めるタイミングを基準として、2分前から1分前の1分間と、1分前からボタン押しまでの1分間でt検定を行ったところ、有意差は認められないことがわかった。また、各指標の値が増加から減少に転じるタイミングには個人差があり、個々の指標を個別に確認するだけでは主観的な酔い発生の事前検知が困難であることが示唆された。今後は、個人の特性の考慮や、重心動揺の複数の指標を使用することを検討する。

参考文献

[1] International standard organization: IWA3:2005 Image safety-Reducing the incidence of undesirable biomedical effects caused by visual image sequences (2005).
 [2] Kennedy, R. S., et al.: Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness, The international journal of aviation psychology, Vol.3.3, pp203-220 (1993).
 [3] Kellogg, R. S.; Kennedy, R. S.; Graybiel, A.: Motion sickness symptomatology of labyrinthine defective and normal subjects during zero gravity maneuvers. AEROSPACE MEDICAL RESEARCH LABS WRIGHT-PATTERSON AFB OHIO (1964).
 [4] Golding, J. F.: Predicting individual differences in motion sickness susceptibility by questionnaire, Personality and Individual differences, Vol.41.2, pp237-248 (2006).
 [5] Golding, J. F.: Motion sickness susceptibility questionnaire revised

and its relationship to other forms of sickness, Brain research bulletin, Vol.47.5, pp507-516 (1998).
 [6] Chelen, W. E.; Kabrisky, Matthew; Rogers, S. K.: Spectral analysis of the electroencephalographic response to motion sickness. Aviation, space, and environmental medicine, Vol.64.1, pp24-29 (1993).
 [7] Hu, S.; Grant, Wanda F.; Stern, Robert M.; Koch, Kenneth L.: Motion sickness severity and physiological correlates during repeated exposures to a rotating optokinetic drum, Aviation, space, and environmental medicine, Vol.62.4, pp308-314(1991).
 [8] Kim, Y. Y.; Kim, H. J.; Kim, E. N.; Ko, H. D.; Kim, H. T.: Characteristic changes in the physiological components of cybersickness, Psychophysiology, Vol.42.5, pp616-625 (2005).
 [9] Bronstein, A. M.: Suppression of visually evoked postural responses, Experimental Brain Research, Vol.63.3, pp655-658 (1986).
 [10] Chardonnet, J. R.; Mirzaei, M. A.; Merienne, F.: Visually induced motion sickness estimation and prediction in virtual reality using frequency components analysis of postural sway signal, Artificial reality and telexistence eurographics symposium on virtual environments, Kyoto, Japan (2015)
 [11] 杉浦明弘, 田中邦彦, 若田部駿, 松本千佳, 宮尾克: 往復運動映像観視における重心動揺の時間特徴解析, 日本衛生学雑誌, Vol.71.1, pp19-29 (2016).
 [12] Wertheim, A.H.; Bos, J.E.; Bles, W.: Contributions of roll and pitch to sea sickness. Brain Research Bulletin, Vol.47.5, pp517-524 (1998)
 [13] Lo, W. T.; Richard, H. Y. S.: Cybersickness in the presence of scene rotational movements along different axes, Applied ergonomics, Vol.32.1, pp1-14 (2001).
 [14] 鈴木淳一, 松永喬, 徳増厚二, 田口喜一郎, 渡辺行雄: 重心動揺のQ&A, 手引き (1995), Equilibrium Research, Vol.55.1, pp64-77 (1996).
 [15] Peek, Brian.: WiimoteLib, URL <http://www.wiimotelib.org>, (2010).
 [16] Park, D. S.; Lee, G.: Validity and reliability of balance assessment software using the Nintendo Wii balance board: usability and validation, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, Vol.11.1, Article number 99 (2014).
 [17] Kapteyn, T.S.; Bles, W.; Njikiktjien, C. J.; Kodde, L.; Massen, C.H.; Mol, J.M.F.: Standardization in platform stabilometry being a part of posturography, Agressologie, Vol.24.7, pp321-326 (1983)
 [18] Cobb, S. V. G.; Nichols, S.; Ramsey, A.; Wilson, J. R.: Virtual reality-induced symptoms and effects (VRIFE), Presence: Teleoperators & Virtual Environments, Vol.8.2, pp169-186 (1999).
 [19] Diels, C.; Howarth, P. A.: Frequency characteristics of visually induced motion sickness, Human factors, Vol.55.3, pp595-604 (2013).