

令和 4 年 6 月 19 日現在

機関番号：43701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11417

研究課題名(和文) 生体影響計測と個人差を考慮した非線形数理モデルの構築によるAR酔い原因の特定

研究課題名(英文) A study on the causes of AR sickness by constructing a nonlinear mathematical model based on biosignals measurements and individual differences

研究代表者

松浦 康之 (Matsuura, Yasuyuki)

岐阜市立女子短期大学・国際文化学科・講師

研究者番号：30551212

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、立体映像視聴時の「遠点と近点の間欠的な切り替え」と「視野領域のサイズ」に着目した。また、不快症状発起時の生体状態を判別するための数理モデルを構築した。その結果、拡張環境下における視野狭窄は自律神経系に大きな影響を及ぼさないという結果が得られた。脳血流量の解析結果から、視野狭窄が脳血流に及ぼす影響がみられた。また、視標速度が異なる立体映像視認を行った結果、視標速度を増大させた影響で、眼球運動のタイプの割合が変容した可能性が考えられる。さらに、CNNを用いた視線運動の人工知能モデルによる周辺視認と追従視認の判別を行った結果、高精度での判別が可能になった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の研究成果は、立体映像やVR/AR、超高精細映像と言った映像視聴時の生体評価にとどまらず、衛生学・人間医工学分野において貢献できる。また、視野狭窄が脳血流に及ぼす影響や、視標速度が異なる立体映像視聴における生体状態の変化は、今後、メタバースなどにおける3D映像やヘッドマウントディスプレイの利用増加が見込まれる中、当該分野の発展や安全性の向上に寄与するものである。

研究成果の概要(英文)：In this study, we focused on "near/far point of eye accommodation" and "the size of visual field" while viewing stereoscopic video clips. We developed a mathematical model to determine the biological condition while unpleasant symptoms are induced. As a result, we found that visual field constriction in the augmented environment did not have a significant effect on the autonomic nervous system. Our analysis of the cerebral blood flow (CBF) showed that the visual field constriction had a remarkable effect on the CBF. Also, it is possible that the visual object could not be processed precisely due to the effect of increased visual cue speed while viewing stereoscopic video clips for each speed in the visual cue. In addition, we have succeeded in findings of an artificial intelligence model for eye movement based on CNNs to discriminate between the peripheral and the central visibility with eye tracking on the visual cue.

研究分野：生体医工学

キーワード：立体映像 拡張現実 仮想現実 脳血流量 視線運動 人工知能 ヒューマンインターフェース データサイエンス

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、仮想現実(VR)や拡張現実(AR)の利用が拡大しつつある。特に、ARで用いられる透過型ヘッドマウントディスプレイ(スマートグラス)はスマートフォンに変わる次世代のインターフェースと言われるなど、今後広範な利用が予想される。一方で、スマートグラスで画像を視認する場合、近点(グラス)と遠点(背景)の間欠的な切り替えによる頭痛や酔いなどが生じる危険性が高いが、この点を検討している研究例は殆どない。VR/ARシステムによる立体映像視聴時に「頭痛や酔いなどの不快症状の惹起」といった問題が指摘されているが、未だに原因が明らかではない。「平成28年度 我が国におけるデータ駆動型社会に係る基盤整備」報告書(2017、経済産業省)では、この分野の産業の発展のために、この不快症状惹起の根拠が必要であると示されている。

そのため、立体映像視聴による人体への影響を早急に明らかにし、その影響を軽減させることは喫緊の課題である。しかし、調節と輻輳の同時計測が困難なこと、視機能と自律神経系の関係や、視聴環境の影響について論じられなかったことから立体映像の生体への影響について客観的な評価や詳細な検討がされてこなかったのが現状である。

自然視では輻輳と調節が一致しているが、立体映像視認時では調節が画像を表示している画面の位置に固定されるのに対し、輻輳は立体の位置で交叉しているというのが一般的な理解である。このようにして生じた輻輳と調節の不一致が、立体視による眼疲労や映像酔いの主な原因であるとされてきた(Cruz-Neira et al., Proceedings of SIGGRAPH '93, 1993)。しかし、申請者らが作成した調節と輻輳の同時計測システムを用いて測定し、詳細に検討した結果、日常生活に近い照度環境下では立体映像視聴時も調節は画面に固定されず、輻輳と調節が一致していることが確認された。(Hori et al., Forma, 2013, Kojima et al., Biochemistry and Bioinformatics, 2013)。さらに、申請者らが、立体映像視聴時に周囲視領域に関する研究を行った結果、視野領域の違いによって、酔いの症状に違いがみられた(Kinoshita et al., 2016)。

2. 研究の目的

近年、立体映像視聴は一般的なものとなっている。しかし、立体映像視聴によって起こる酔い(3D酔い、AR酔いなど)や眼疲労の問題は未解決のまま残っている。これは、立体映像視聴時の輻輳と調節の同時計測が困難なことや、視機能と自律神経系の関係について論じられなかったことなどに起因する。申請者は立体映像視聴時の視機能評価や自律神経評価指標の開発を行ってきた。

また、申請者のこれまでの研究によって、従来の仮説(輻輳と調節の不一致説)と異なり、立体映像視認時においても輻輳と調節が一致する可能性があることや、視聴環境や視聴方法の違い(周辺視または、追従視など)によって、疲労感が変化する可能性もあることが分かっている。これらの研究結果より、立体映像視聴時の視線運動と自律神経・体平衡系の関係を明らかにすることで、立体映像視聴による生体への影響の原因を解明し、影響を軽減できる可能性が高いと推定した。また、任意に視点を動かした場合、被験者は視距離の異なる対象を次々と視認し、制御系の相互作用がその都度必要となる。特に、AR視聴の場合、近点と遠点の間欠的な切り替えによる脳内の情報過多や眼疲労が起こりやすいと考えられる。この状態こそが生体制御系に負担を加えており、自律神経系のアンバランス(酔い)や間欠的な調節と輻輳の不一致も生み出していると推測している。

そこで、本研究では、立体映像視聴時の「近点と遠点の間欠的な切り替え」と「視野領域のサイズ」に着目し、これに伴う不快症状惹起時の生体状態を、非線形数理モデルの構築によって評価・分析することで、立体映像視聴時に生じる酔いの原因を特定する。

3. 研究の方法

本研究では、以下の方法2D映像および立体映像視認時における実験および、解析を以下の通り行った。実験は、耳・神経系疾患既往歴のない若年者男性を対象に実験・計測を行った。被験者には事前に実験の説明十分に行い、了承を得た。

(1) 拡張現実下での立体映像視認

映像機器は透過型ヘッドマウントディスプレイ MOVERIO BT-200 (EPSON)を用い、被験者は周辺視による立体映像視認を行った。実験プロトコルは、測定開始後最初の60秒間は背景画像に狭角がない映像を視認し、次の60秒間は背景画像に狭角がある映像を視認し、最後の30秒間は開眼で安静をとった。このプロトコルを5回繰り返した。測定項目は次の3つで、重心動揺検査、100 Hzのサンプリング周波数で記録した。心電図計測、1kHzのサンプリング周波数で記録した。光脳機能イメージング装置(NIRS) LABNIRS(島津製作所)により、大脳皮質表面の血中酸化ヘモグロビン濃度および脱酸化ヘモグロビン濃度の変化を55Hzのサンプリング周波数で記録した。

(2) 視標速度が異なる立体映像視認

映像機器はヘッドマウントディスプレイ dlodlo glass (dlodlo)を用いて、批評が左右および上下に変異を伴いながら近位と遠位を準周期的に往復運動する映像を映像 1、映像 1 に対して指標の速度を 10 倍にした映像を映像 2 として、周辺視による立体映像視認を行った。実験姿勢は立位ロンベルグ姿勢として、映像 1 と映像 2 を各 60 秒間視認させ、その後、30 秒間の開眼安静を行った。このプロトコルを 5 回繰り返した。測定項目は次の 3 つで、重心動揺検査、100 Hz のサンプリング周波数で記録した。心電図計測、1kHz のサンプリング周波数で記録した。光脳機能イメージング装置 (NIRS) LABNIRS (島津製作所) により、大脳皮質表面の血中酸化ヘモグロビン濃度および脱酸化ヘモグロビン濃度の変化を 55Hz のサンプリング周波数で記録した。

(3) 立体映像視認時の人工知能モデル

立体映像を周辺視または追従視の方法で各々 60 秒視認させ、この間の視線運動および重心動揺を計測した。実験は暗室で行い、実験中の姿勢は立位ロンベルグ姿勢とした。提示した映像の球体において被験者から見て立体映像の飛び出す角度は近方時が 6[deg]、遠方時が 0.5[deg]である。また、背景の視野角は 23[deg]である。

視線運動計測には、アイマークレコーダー EMR-9 (ナックイメージテクノロジー) を用い、映像視認時の各サンプリング時間での視線の位置を記録した。サンプリング周波数は 60Hz とした。映像視認時の各サンプリング時間での視点位置 xy 座標 [pix] を計測し、各指標を記録した。データは、 x 方向 (液晶画面の水平方向、右方向を正とする) と y 方向 (鉛直方向、上方向を正とする) に分け、時系列化した。映像は被験者から 1 m の距離に目の高さが中心になるよう設置された 55 インチディスプレイ KDL 40HX80R (SONY) 上に 2D 映像および立体映像を提示した。映像は円偏光方式を用いた表示方式を採用した。

統計的機械学習における判別問題の結果から、混同行列を求め、正解率、適合率、再現率などの指標を算出することで、機械学習モデルの性能を数値化して評価することが出来る。混同行列は、真陰性 (True Negative, TN)、偽陽性 (False Positive, FP)、偽陰性 (False Negative, FN)、真陽性 (True Positive, TP) の 4 成分からなる正方行列であり、全テストデータの予測結果から計数される。本研究における統計解析では、有意水準を 0.05 とした。

実験により得た 2D および立体映像視認時の視線運動データから統計的機械学習に用いるデータセットを作成する。周辺視視認時および追従視視認時において、計測した視線運動について前処理を行った後、一定の系列長を決め、データ区間の開始位置を 0.5 秒ずつずらしながら、それぞれ抽出した。抽出した時系列をデータセットとし、統計的機械学習を行い、周辺視と追従視の判別を行った。周辺視を陰性 (Negative/0)、追従視を陽性 (Positive/1) としてラベル付けを行った。この正解ラベルに基づいて学習を行い、データセットに対応する値の予測を行った。計測手法には、全ての被験者がテスト事例となる要検証を繰り返す leave one out 法を用いた。学習モデルには回帰型ニューラルネットワークにおけるゲート機構である Gated Recurrent Unit (GRU) と空間情報を捉えることが出来る Convolutional Neural Network (CNN) を組み合わせたモデルを用いた。

4. 研究成果

(1) 拡張現実下での立体映像視認

実験で使用した立体映像は、背景映像上を球体が準周期的に往復運動をするものを用いた。また、2 タイプの映像を用いて、実験を行った。2 つの映像間の違いは、背景映像の視野狭窄の有無のみであり、準周期的に往復運動する球体の動きは同じである。実験では、重心動揺、心電図、脳血流量の同時計測を行い、映像間の比較をすることで、背景映像の視野狭窄の有無について検証した。重心動揺の解析結果から、視野狭窄のある映像の視認時に動揺が小さくなるということが確認できた。動揺が小さくなるということは、映像酔いの危険が少ないということであり、拡張環境下では、背景映像に視野狭窄のある映像の方が安全であるという可能性が示唆された。心電図の解析結果から、AR 環境下における視野狭窄は自律神経系に大きな影響を及ぼさないといい結果が得られた。脳血流量の解析結果から、視野狭窄が脳血流に及ぼす影響がみられた。

(2) 視標速度が異なる立体映像視認

NIRS 検査の結果から、視野狭窄の影響で酸素化ヘモグロビン濃度が前頭葉で有意に増加し、側頭葉の一部で有意に減少した。これらの結果から、視野狭窄に伴い腹側視覚路が賦活化して脳血流量が増加したと考えられる。

また、視標速度の違いについて検討を行った。重心動揺検査の結果から、映像の違いによる差はみられず、視標速度の違いは体平衡系に大きな影響を与えないことが示唆された。心電図検査の結果から、視標速度の大きさが低い映像に比べ、視標速度の大きさが高い映像視認時に交感神経が亢進した。これは、視標が速く運動することで視標の認識を困難にし、視標把握のために集中度が増し、交感神経が賦活化した可能性が示唆される。NIRS 検査の結果から、視標が速く運動することで視標の認識を困難にし、視標把握のために集中度が増し、前頭葉の脳血流量が増加した可能性が示唆された。また、後頭葉で脳血流量の減少がみられた。これは、視標速度が増大した影響で、眼球運動のタイプの割合が変容した可能性が考えられる。

(3) 立体映像視認時の人工知能モデル

周辺視と追従視の判別に関する正解率の値を系列長で比較した。系列長および視認映像の立

体性を因子とする二元配置分散分析を行い、その正解率を統計学的に比較した。その結果、交互作用は見られなかった。系列長について主効果が認められたため、Tukey法を用いて系列長の多重比較を行った。2D映像視認時においては、その正解率について系列長が1秒と10秒、1秒と20秒の間で有意差が認められた($p < 0.05$)。また、立体映像視認時においては、その正解率についても系列長が、1秒と10秒、1秒と20秒の間で有意差が認められた($p < 0.05$)。

視認映像の立体性に対して、その正解率の大小関係を比較すると、系列長が10秒間までは、立体映像視認時における値のほうが高い傾向にあった。しかし、系列長が10秒間のときは、正解率が同程度になり、20秒間では2D映像視認時における値のほうが上回った。実験に用いた映像は、左右および上下に変異を伴わずに近位と遠位を往復する時間が約8秒間ある。2D映像では、この8秒間での周辺視と追従視の違いが見られず、判別が出来ない。そのため、系列長が10秒間までは、立体映像と比較して2D映像の正解率の値が低かったと考えられる。結果的に、視認映像の立体性に関わらず、系列長を10秒間としたときの正解率がいずれも95.7%となり、最大値を取った。

次に、それぞれの系列長での適合率と再現率の値を比較した。ここでは、Wilcoxonの符号付順位検定を用いて、これらの値に有意差がみられるかを比較した。その結果、2D映像視認時においては、系列長が5秒間の時に適合率と再現率の値に有意差が認められた($p < 0.05$)。一方、立体映像視認時においては、系列長が1、3秒間の時に適合率と再現率の値は異なる傾向が見られた($p < 0.1$)。

適合率と再現率の値を比較すると、2D映像視認時においては、系列長が10秒間までは、適合率の値が高い傾向にあったが、10秒、20秒間では、再現率の値のほうが高い。一方で、立体映像視認時においては、全ての系列長において、再現率の値の方が高い傾向にあった。これは周辺視より追従視の正答率の値が大きいことを表している。視線運動には、トレマ・フリック・サッカーの3つの成分があり、追従視認時においては、それらすべての成分から構成されている。そのため、追従視認時における視線運動データは、生体信号としての情報量が大きいことが期待され、判別成績が良好であったと考えられる。

また、視認映像の立体性によらず、系列長を20秒間にしたときの適合率が減少した。これは、周辺視認時において20秒間に数回程度、不随意に生じる衝動性眼球運動は、追従視認時における固視微動に含まれるフリックと同様な運動パターンであるため、周辺視が追従視に判別された可能性が示唆された。今後は競争的ニューラルネットワークなども活用することで、周辺視に特徴的な視線運動成分を抽出して、議論を進めていく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 小野 蓮太郎, 松浦 康之, 宮尾 克, 高田 宗樹	4. 巻 77
2. 論文標題 加齢に伴う立体映像視認時の重心動揺パターン	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本衛生学雑誌	6. 最初と最後の頁 n/a
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1265/jjh.20009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 小野 蓮太郎, 松浦 康之, 中根 滉稀, 高田 宗樹	4. 巻 141(9)
2. 論文標題 快適・安全なVR視聴に向けたHMD映像の身体影響に関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌)	6. 最初と最後の頁 940-947
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.141.940	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Y. Matsuura, H. Takada	4. 巻 6(4)
2. 論文標題 Evaluation Studies of Motion Sickness Visually Induced by Stereoscopic Films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal	6. 最初と最後の頁 241-251
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.25046/aj060428	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 K. Nakane, R. Ono, S. Yamamoto, M. Takada, F. Kinoshita, A. Sugiura, Y. Matsuura, K. Fujikake, H. Takada	4. 巻 1
2. 論文標題 Numerical Analysis of Body Sway for Evaluation of 3D Sickness	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE ICCSE 2020	6. 最初と最後の頁 89-95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Matsuura, H. Takada	4. 巻 4(4)
2. 論文標題 Comparison of Electrogastrograms in Seated and Supine Positions Using Wayland Algorithm	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal	6. 最初と最後の頁 42-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.25046/aj040405	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Tanimura, Y. Jono, T. Hirata, Y. Matsuura, H. Takada	4. 巻 34
2. 論文標題 Trial on Low-pass Filter Design for Bio-signal Based on Nonlinear Analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Forma	6. 最初と最後の頁 13-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計7件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 高井英司、青柳隆大、市川敬太、松浦 康之、木下史也、高田宗樹
2. 発表標題 香気強度が胃電図の無規則性に及ぼす影響
3. 学会等名 日本味と匂学会第54回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 市川敬太、高井英司、青柳隆大、松浦康之、木下史也、平田隆之、高田宗樹
2. 発表標題 香気曝露に伴う胃電図パターンの時間変化を捉えるための非線形解析
3. 学会等名 第 89 回 形の科学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塚本圭祐、小野蓮太郎、前川紘澄、松浦康之、平田隆幸、高田宗樹
2. 発表標題 重心動揺検査を利用した覚醒度の定量的評価に関する研究
3. 学会等名 令和2年度日本生体医工学会北陸支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小野蓮太郎、高田宗樹、平田隆幸、山本将太、増永澄紀、松浦康之
2. 発表標題 立体映像の周辺視認時における視線運動に関する研究
3. 学会等名 第88回形の科学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Matsuura, H. Takada
2. 発表標題 Comparison of Electrogastrograms in a Seated Posture with those in a Supine Posture using Wayland Algorithm - For the Evaluation of Motion Sickness induced by Stereoscopic Movies -
3. 学会等名 IEEE ICCSE 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 市川敬太、高田宗樹、松浦康之
2. 発表標題 概日リズムが自律神経系および体平衡系に与える影響
3. 学会等名 平成30年度日本生体医工学会北陸支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺田亮太、松浦康之、平田隆幸、高田宗樹
2. 発表標題 拡張現実下の立体映像視認が生体に及ぼす影響
3. 学会等名 2018 年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	高田 宗樹	福井大学・学術研究院工学系部門・教授	
	(Takada Hiroki)		
	(40398855)	(13401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------