

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11395

研究課題名(和文) 生体信号の共分散構造分析を用いた動揺病発症検出法の研究

研究課題名(英文) Detection of visually induced motion sickness by making a structural equation modeling of biological signals

研究代表者

井須 尚紀 (Isu, Naoki)

三重大学・工学研究科・招へい教授

研究者番号：50221073

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)：自動車の自動運転が実用化されると、車内での過ごし方が変化し、これまで以上に車酔い(動揺病)の発症が予想される。その対応として、本人が不快を感じる前に動揺病の発症を予測・検出し、快適性等の低下を防ぐことが本研究の目的である。心拍や呼吸、皮膚電位など多種の生体信号と不快感等の主観評価値を取得する。それらを基に、観測できない身体内部の状態を含む共分散構造分析によって、眠気やストレスなどと分離した不快感の推定を行う。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、車酔い(動揺病)による生活の質の低下を防ぐことを目的としている。その第一段階として、全実験参加者の動揺病による不快感を平均的に良く推定できる数理モデルを作成する試みから開始した。その後、当初の予定に従い、動揺病症状の検出において大きな問題となる個人差への対応を試みたが、その結果から時期尚早であったと判断し、平均的により良く推定できるモデルの改善に努めた。その結果、モデルによる推定の精度は当初の2倍以上に向上した。また、良い推定を得られる対象も増加した。実用的なものとするには個人差への対応が必須であるが、全体的な推定精度の向上という点では大きく進展したと考える。

研究成果の概要(英文)：The way of spending time in the car will be changed by the autonomous driving technology is put into practical use in the near future. Because of this change, the probability of appearance of motion sickness symptoms will be increased too. To the countermeasure of this problem, this research is aiming the realizing the advance prediction and detection of onset of motion sickness symptoms. To the countermeasure of this problem, this research is aiming the realizing the advance prediction and detection of onset of motion sickness symptoms. This research will contribute to keep away from the risk of decreasing the comfortable in the autonomous driving car. Subjective evaluations such as discomfort and tense, and various biological signals were measured. They were used to make a model of structural equation for estimation of one's discomfort level.

研究分野：人間情報工学

キーワード：動揺病 生体計測 共分散構造分析

1. 研究開始当初の背景

自動運転技術の発展は目覚ましく、日本でも 2025 年頃には走行可能範囲を限定して一切の運転操作が不要な自動運転車両が導入される予定である。完全自動運転への移行も検討されており、将来的にはドライバーが運転に従事する必要がなくなり、読書やデスクワークなど、移動時間を任意の活動に充てるようになることが予想される。しかし、このような変化は、車酔い(動揺病)の発症原因とされる感覚知覚的な矛盾を引き起こしやすく、動揺病を発症する可能性が高くなる。動揺病が生じると、その不快な症状から快適性を損なうだけでなく、システム異常や自動運転可能範囲からの逸脱によって手動運転への切り替えが生じた際に感覚知覚能力が低下した状態での操作を余儀なくされる可能性があり危険である。これを防ぐためには、搭乗者の状態をモニタリングすることで動揺病の発症を事前に予測検出し、症状の深刻化を防ぐ行動をとるよう促すことが有効である。

2. 研究の目的

本研究は自動運転車両乗車中の個人の生体情報を基に、動揺病の発症を予測検出することを目的とした。心拍、呼吸、皮膚電位、体温などを計測し、不快感等の主観評価値と併せて共分散構造分析を行う。その後、生体信号から主観評価値を算出できるよう、一部の逆モデルを求める等の処理を行い、身体内部の状態及び動揺病症状による不快感の程度を推定する。

研究の第一段階は、複数名の実験参加者データを用いて平均的人間モデルを作成し、良い推定結果を得ることを目標とした。続く第二段階は、個人ごとの動揺病発症傾向の違い(個人差)に対応するべく、タイプ別のモデルを作成することを目標とした。また、第三段階として、個人に合わせてモデルのパラメータを変化させる学習アルゴリズムを用いて、個人モデルを最適化することも計画されていた。ただし、これらの計画は実際の状況によって変更が必要となり、本研究期間中は、第一段階の推定精度の向上が主な実施内容となった。

3. 研究の方法

動揺病の誘発させる装置として、3D ドライビングシミュレータシステム(図 3-1 を参照)を用いた。高さ 2.6m、幅 10m(視角で 36 度、124 度)で曲率半径 10m の円筒型スクリーンに、片眼につき 3 台ずつのプロジェクタを用いて偏光方式による立体投影が行われた。実験参加者は頭部がスクリーンから 4m 離れた位置になるようにドライビングシートに着席し、実験参加者の手足の長さに合わせて操作しやすいよう調整された位置に設置されたステアリングコントローラを用いて運転操作を行うよう求められた。また、試行中は走行音と BGM がスピーカー及びヘッドセットから提示された。試行中は、ヘッドセットを通して実験参加者と実験者の会話が可能であった。



図 3-1: 3D ドライビングシミュレータシステムを構築する機材の写真。天井に 6 台のプロジェクタを設置(左上)し、円筒スクリーン(左下)に映像を提示した。ドライビングシートはムービングベース上のモックアップを用いた。

全く動揺病を生じなかった一部の实验参加者を除いて、多くの实验参加者は、先述のドライビングシミュレータを操作することで動揺病を発症した。操作シーンは、動揺病を誘発する程度が異なる複数のシーン(各 4 分間)を組み合わせて作成した。このように作成することで、試行中に生じる感情や、得られる生体信号に変化を生じさせた。各シーンの作成時には、実際にそのシーンを操作している際に得られる不快感や楽しさ、緊張感の主観評価を取得しつつ、シーン内の配置物や操作タスク(可能な限り早く目標地点にたどり着く、仮想環境内に散らばった目標物を集める等)の調整を行った。また、各実験の試行開始時には、安静時のデータが取得できるよう、BGM とスライドショーが提示された。

解析対象として取得したデータは、主として生体信号 12 種類（心拍周期、心拍周期変動、交感神経活動、副交感神経活動、呼吸周期、呼吸周期変動、呼気終末二酸化炭素濃度、瞬目周期、瞬目周期変動、皮膚電位、手甲部皮膚表面温度、手甲部皮膚表面湿度）と、主観評価 3 種類（不快感、楽しさ、緊張感）とした。生体信号の内、交感神経活動と副交感神経活動は、心拍変動から算出したものであった。心拍や瞬目、皮膚電位などは、ディスプレイ電極を張り付け、アナログに取得した。その他、呼吸関連はハンドベルト SPO2/CO2 モニタを用いて、手甲部皮膚表面温度及び湿度は、密着型の温度湿度センサを用いて、それぞれ取得した（具体的な貼付位置の例は図 3-2 を参照）。各主観評価項目については、試行中 2 分毎にヘッドセットを通して実験参加者に各主観評価項目についての評価を求め、口頭で報告させることで取得した。各主観評価項目は、その程度に応じて、0~10 の 11 段階で報告するよう求めた。この時、不快感については 10 が受忍限度の限界と設定したため、実験参加者が 10 を報告した場合は、そこで実験終了とした。また、逆に主観評価のタイミングで無くとも、被験者から受忍限度に達した旨の報告があった場合には、その時点で評価値が 10 になったものとして扱い、実験を終了した。不快感以外の主観評価項目は、交絡する要因を少しでも排除すべく、取得することとした。これは、通常ドライビングシミュレータを操作している際には不快感以外にも様々な感情が生起し、それらによっても生体信号の変化が生じるという考えに基づく判断であった。本研究では、これらのデータを用いて共分散構造分析を行い、作成された共分散構造モデルを元に、生体信号から不快感の推定につながるモデルを作成した。

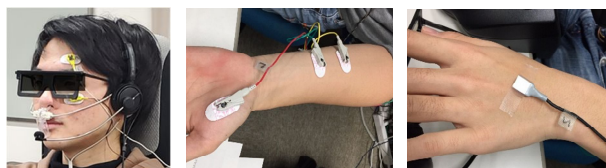


図 3-2：各生体信号計測機器の装着例。頭部（左図）に眼電計測用の電極を貼付し、呼気取得用のネイザルアダプタを鼻腔内及び口の前に装着する。同様に、左手母指球及び同内腕部（中央図）に電極を貼付、同様に左手甲部（右図）に温度湿度センサを貼付する。他に、右鎖骨及び左脇腹にも心電計測用の電極を貼付する。

本研究では、まず（1）39 名のデータを用いて、平均的モデルを作成し、推定を行った。この時、動揺病を誘発する刺激には 7 種類のシーンを用いて合計 28 分間の操作シーンを作成して用いた。次に、（2）12 名の実験参加者について、同じ操作シーンを用いて、一週間おきに 5 回の試行を繰り返すことで、個人モデルを作成した。先に作成した平均的モデルと今回作成した個人モデルを用いた不快感の推定結果を比較することで、個人モデルの有効性について検討を行った。更に、（3）19 名の実験参加者について、個人モデルに関する追及を行った。13 種類の仮想環境と、3 種類の乗物、3 種類の操作タスクの組合せから、予備観察の結果を基に 60 シーンを抽出し、6 シーンずつ組み合わせることで、24 分間の操作シーンを 10 種類作成した。これを各被験者に一週間おきに一つずつ行ってもらい、合計 10 試行のデータを取得した。その後、（4）再度平均的モデルに着目し、36 名の実験参加者から 30 名分のデータを得て推定精度の高い平均的モデルの作成を試みた。先に作成した 60 シーンから特に動揺病を誘発する程度が大きく変動するように 5 シーンを抽出して 20 分間の操作シーンを作成して用いた。最後に、（5）更に広い範囲の個人に対応できるように、動揺病を誘発する程度が（4）の操作シーンと比較してやや低くなるように操作シーンを調整して実験を行った。28 名のデータを用いて新たなモデルを作成した。各実験で用いられたシーンの例は図 3-3 に示す。

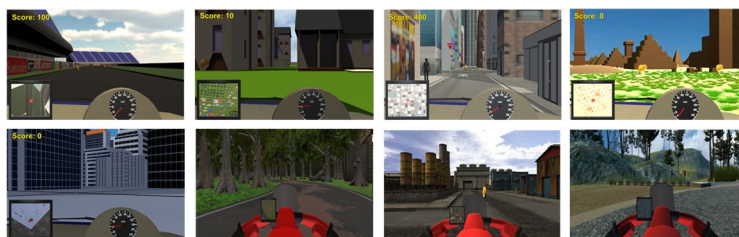


図 3-3：実験に用いたシーンの例。図は全ていずれかの実験で用いられたシーンのスクリーンショットである。（2）を除く全ての実験において個別に予備観察を行い、配置物やテクスチャ、走行可能な経路から見える物体、最高速度等、様々なパラメータを調整した。

4. 研究成果

(1) 作成されたモデルを、モデルの説明力、当てはまりの良さ、パラメタ数が最小の時(独立モデル)に比べて改善された程度に関する3種類の指標で評価した。その結果、独立モデルに比べて改善された程度は僅かに目標に届かなかったが、それ以外の2指標は良好であった。そのため、作成されたモデルは、改良の余地はあるが比較的良好なものと考えられた。

作成されたモデルを用いて各種生体信号から算出した不快感の推定値は、実際の主観評価値との相関係数が0.371であった。相関係数としては高いとは言えない数値であるが、動揺病は個人差の影響が大きく、今回作成した平均的モデルは個人差に対応できない。そのため、ひとまずは今回作成されたモデルを元に、個人モデルの構築可能性を探ることとした。

(2) 取得した12名の内、半数の6名は個人モデルにおいて実際の主観評価値と生体信号から算出した推定値とがより高い相関を示した。しかし、5名は共分散構造分析において解を求めることができず、モデルを作成できなかった。また、1名は個人モデルでは良い推定が得られず、全体モデルの方が良い推定が得られた。

解を求めることができた個人の殆どは、個人モデルを用いることで、より良い推定結果を得ることができた。これは、動揺病の検出や予測において、個人差への対応が重要であることを示唆する結果であろう。ただし、報告された不快感の程度に関わらず、解を求めることができない個人が多数確認された。このことから、個人モデルの作成には、個人内のデータ拡充や、主観評価値の変動が十分に得られるように刺激等を工夫する必要があると考えられた。

(3) 実験参加者は19名であったが、実験参加者の都合や一切の不快感が無かった実験参加者の除外などにより、10試行を完遂したデータは3名分しか得られなかった。完遂した3名それぞれについて個人モデルを作成したところ、1名は主観評価値と推定値の相関係数が0.963となり、非常に良く生体信号から主観評価の推定ができた。しかし、他の2名はうまく推定することができなかった。この原因を調べるべく、個人別にデータの傾向を確認した。その結果、報告された不快感の主観評価値の分布が、良く推定できた1名とは異なっていたことが分かった。良く推定できた1名は比較的幅広く値が報告されていたが、他の2名は低~中程度に大きく偏っており、高い不快感は殆ど報告されていなかった。このことから、良好な推定が可能なモデルを作成するためには、単純なデータ数よりも、様々な不快感の程度を再現し、各点における情報を十分に得ることが重要であることが分かった。

当初、個人のデータを積み重ねることで、特定の個人に対応したモデルを作成する予定であった。しかし、この方針では、個人差への対応は困難な可能性がある。もし、個人内で様々な不快感の程度を再現する必要があるのならば、動揺病症状が軽度の個人だけでなく、急激に強い動揺病症状が生じた個人など、生体信号の変化過程が十分に得られ難い個人への対応も難しい可能性が高い。

(4) 作成された平均的モデルは、先述した3つのモデル評価指標による評価においては、研究初期の平均的モデルと大差無いものであった。しかし、モデルを用いた不快感の推定結果は、研究初期のモデルと比較して大幅に改善された。具体的には、各種生体信号から算出した「不快感の推定値」と「実際の主観評価値」との相関係数が0.664となった。この結果は、個人差が大きいとされる動揺病の平均的モデルとしては十分に良好なものと考えられる。

今回作成された平均的モデルを用いた個人別の推定は、比較的高い不快感(主観評価値が7以上)を報告した個人については、十分に良い精度で推定することができていた。このことを示す結果として、比較的高い不快感を報告した17名における主観評価値と推定値間の相関係数の分布を図4-1に示す。該当する17名の内、推定値が低い水準にとどまった個人は2名のみであった。また、17名中14名は全体的な推定(相関係数0.664)よりも良好な結

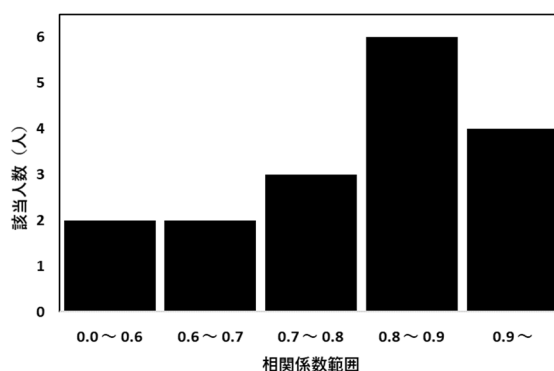


図 4-1: 実験時に比較的高い不快感を報告した個人における不快感の主観評価値と推定値の相関係数の頻度分布。横軸は相関係数の範囲を表し、縦軸は横軸に示す範囲の頻度を表す。

果であり、今回作成されたモデルは、高い不快感を報告した個人に対して、特に当てはまりの良いものであったことが分かる。

一方、先述の 17 名に該当しない（主観評価値が 6 以下の）13 名については、全体的な推定よりも良好な結果は 3 名に留まった。加えて、主観評価値と推定値間の相関係数が 0.6 未満となる個人は 8 名であり、その人数比から、あまり強い不快を感じなかった個人については、今回作成されたモデルでは推定が難しかったことが分かる。

(5)作成されたモデルについて、これまでと同様に 3 つのモデル評価指標による評価を行った。その結果、当てはまりの良さについては僅かに低下したが、他の 2 つの指標についてはこれまでのモデルとほとんど変わらない評価であった。また、今回作成されたモデルを用いて生体信号から算出された推定値と不快感の主観評価値との相関係数は 0.694 と良好な結果であった。そのため、今回作成されたモデルは、前回(4)で作成されたモデルと同程度の精度を持つものであったと考えられた。

今回モデルを作成するために用いたデータは、前回作成されたモデルよりも広い範囲の個人に対応することを目的に集められたものであった。そこで、実際に今回作成されたモデルがより広い範囲の個人に対応できたか否かを確かめるべく、比較的高い不快感（主観評価値が 7 以上）を報告した個人と、それ以外（主観評価値が 6 以下）の個人に分けて、不快感の主観評価値と推定値の相関係数を算出した。その結果、比較的高い不快感を報告した群の相関係数は 0.683、そうでなかった群の相関係数は 0.711 となった。これら両群の相関係数は、いずれも前回の全体的な推定における相関係数（0.664）と同等以上の数値である。そのため、今回作成されたモデルによる推定は、より広い範囲の個人に対応できていたものと言えよう。

ただし、比較的高い不快感を報告した実験参加者の一部については、前回作成されたモデルによる推定の方が良い結果となっている個人もいるなど、一概に全てが改善されたとは言えない結果でもあった点には留意すべきであろう。また、前回と同様に、比較的高い不快感を報告した実験参加者の一部において、うまく推定ができなかった個人が確認された（図 4-2(b) 参照）。本研究の目的から、比較的高い不快を感じた個人は確実に推定すべき対象であるが、作成したいずれの平均的モデルにおいても、推定ができない個人が存在していた。平均的モデルは、独特な傾向を持つデータなどへの対応が困難であるため、このような個人に対応するためには、やはり個人差を考慮した工夫が必要と考えられる。

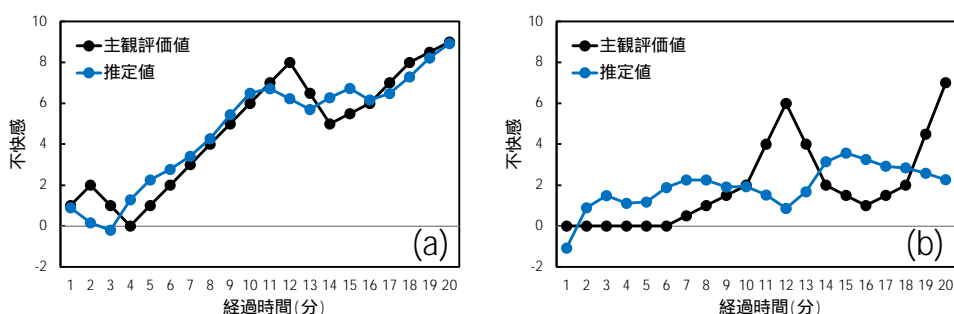


図 4-2：個人の不快感主観評価値と生体信号から算出した推定値の例。それぞれ、今回のモデルで最も良い推定ができていた例(a)と、最も推定ができていなかった例(b)である。主観評価値と推定値の相関係数は、(a)が 0.942、(b)が 0.152 であった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 滝本直輝, 奈良卓実, 小川将樹
2. 発表標題 生体信号の共分散構造分析に基づく個人ごとの動揺病強度推定
3. 学会等名 日本視覚学会2021年冬季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takumi Nara, Tomoya Kai, Yuichiro Suzuki, Masaki Ogawa, Atsuo Kawai, Naoki Isu
2. 発表標題 Covariance Structure Modeling of Biosignal for Detection of Cyber Sickness
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference on Vision (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akihiro Emoto, Ryota Ishikawa, Hikaru Hasegawa, Masaki Ogawa, Atsuo Kawai, Naoki Isu
2. 発表標題 Research on Onboard Movie Showing Methods to Suppress Seasickness
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference on Vision (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshiya Tsuchihashi, Kenta Taniyama, Kyohei Koike, Naoki Isu, Masaki Ogawa, Atsuo Kawai
2. 発表標題 Contributions of 3D Circular Images to Incidence of Visually Induced Motion Sickness
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference on Vision (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yue Song, Toshiya Tsuchihashi, Jyumpei Matsumura, Masaki Ogawa, Atsuo Kawai, Naoki Isu
2. 発表標題 Cyber Sickness was Affected by Apparent Gravity of Virtual Environment at Side-lying Position
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference on Vision (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Ogawa
2. 発表標題 Making a Model of Bio-Signals for Detecting Cyber Sickness
3. 学会等名 International Conference for Top and Emerging Computer Scientists (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川 将樹, 長谷川 光, 石川 亮太, 江本 明弘, 河合 敦夫, 井須 尚紀
2. 発表標題 船舶動揺下の酔い抑制のための映画上映法における視覚的揺れの影響
3. 学会等名 第32回日本バーチャルリアリティ学会VR心理学研究委員会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 甲斐 智也, 大矢 敦司, 高橋 優希, 森本 拳伍, 小川 将樹, 河合 敦夫, 井須 尚紀
2. 発表標題 生体信号の共分散構造分析でサイバー酔いを事前予測する研究
3. 学会等名 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川 光, 福田 奈央, 渡辺 航平, 小川 将樹, 河合 敦夫, 井須 尚紀
2. 発表標題 酔い抑制のための映画上映法における視覚的揺れの効果
3. 学会等名 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辰巳 鏡介, 古居 侑也, 伊藤 大河, 永川 智泰, 小川 将樹, 河合 敦夫, 井須 尚紀
2. 発表標題 ドライビングシミュレータの加減速時に生じるシミュレータ酔いを抑制する映像提示法の研究
3. 学会等名 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷山 健太, 出口 智基, 中桐 沙紀, 小川 将樹, 河合 敦夫, 井須 尚紀
2. 発表標題 並進と回転の複合ベクションが誘起するサイバー酔い強度の重回帰分析
3. 学会等名 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会
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	小川 将樹 (Ogawa Masaki) (30772644)	三重大学・工学研究科・助教 (14101)	

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
---------	---------