



# 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

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

三重大学 工学研究科 (〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577, chair@info.mie-u.ac.jp)

**概要:** 本研究では乗り物や VR で本人が不快に感じる前に、サイバー酔い発症を予測し、検出する手法の開発を目指す。3D ドライビングシミュレータを用いて実験参加者に 6 つの映像刺激を見せ、その際の 12 種の生体信号と不快感、楽しさ、緊張感の 3 つの主観評価の変化を計測した。得られた生体信号と主観評価を共分散構造分析することでサイバー酔いの変化を予測する。

**キーワード:** 生体計測・サイバー酔い・共分散構造分析

## 1. はじめに

サイバー酔いが発症する原因としては感覚矛盾説が有力な仮説として挙げられている。感覚矛盾説では、平衡感覚と視覚の信号が互いに矛盾を起こすことによってサイバー酔いが発生すると考えられている。しかし、サイバー酔いが発症するメカニズムはよく解明されていない。自動車、航空機、電車などの様々な乗り物に乗車した際に乗り物酔いを発症したり、バーチャルリアリティ機器(以下 VR という)を使用した際にサイバー酔いを発症すると、不快感を催したり正常な行動ができなくなる場合がある。本研究では乗り物や VR で本人が不快に感じる前に、サイバー酔いの発症を素早く予測・検出する手法の開発を目指す。先行研究[1]では、VR 使用によってサイバー酔いが発症した時の生体信号を因子分析した結果、不快感・覚醒レベル・緊張感に対応する 3 つの共通因子が抽出された。これを踏まえ、本研究では不快感・楽しさ・緊張感の 3 つの主観評価の間に相関が出ないことをねらい、3D ドライビングシミュレータシステムを用いて 6 種類の映像刺激を実験参加者に見せ、その際に変化した生体信号の計測をし、解析を行った。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験参加者

20 歳前後の健康な男女 37 名 (男性 22 名、女性 15 名) を実験参加者とし、そのうち 6 名は 2 回重複して計 43 回試行した。実験参加者には、実験前に実験目的、実験方法、実験により予期させる影響、プライバシーの保護などについて十分な説明を行い、実験参加に関する同意書を得た上

Tomoya KAI, Atsushi OYA, Yuki TAKAHASHI, Kengo MORIMOTO, Masaki OGAWA, Atsuo KAWAI and Naoki ISU

で実験を行った。本実験は三重大学工学研究科倫理委員会の承認のもとに実施した。また、実験参加者には実験開始前と終了後にシミュレータ酔い調査票と動揺病感受性調査票を記入させ、各実験参加者のサイバー酔い強度とサイバー酔いに対する感受性を測定した。なお、実験途中で実験を続けられないと判断した実験参加者については直ちに実験を中断した。

### 2.2 実験装置

3D ドライビングシミュレータの視覚刺激映像を円筒型のスクリーン(高さ 2.6m、幅 10m)に投影し、約 28 分間実験参加者に運転させることでサイバー酔いを誘起させた。スクリーンから 4m 手前にステアリングコントローラを 5 台配置し、実験中、実験参加者には生体信号を計測するための電極やセンサ、3D メガネ、ヘッドセットを装着させた。実験参加者にはヘッドセットを通して BGM と車の走行音を聞かせ、カーステレオを流しながら運転している状況をイメージさせた。生体信号の取得には生体信号計測用汎用アンプや、呼吸炭酸ガスモニタを用いた。これらの信号を A/D 変換機を介して USB からパソコンに入力した。

### 2.3 実験刺激

はじめに、初期評価・生体信号を安定させるために 4 分間映像を視聴させ、その後に 6 種類のコースを各 4 分間運転させる計 28 分の実験を行った。視覚刺激は不快感・楽しさ・緊張感の 3 つの強度が異なるように 6 種類作成し、計 24 分連続で刺激を与えた。なお、画面を徐々に暗転させることで刺激映像の切り替わる違和感をなくし、なるべく実験参加者の生体信号及び主観評価への影響を少なくした。1~5 人の実験参加者に 1~5 の番号を割り振り、150m (または 15 秒) ごとに運転者をランダムに切り替えた。運転速度の目安は視覚刺激ごとに定め、実験者が指示した速度で走らせた。また、交差点のある刺激では特に指

表 1：各刺激の概要

刺激	走行する仮想環境	走行速度の目安	BGM
①	道幅の広い明るい街	60km/h	低い緊張感（くつろぎ感）を与える音楽
②	崖沿いの道	20km/h	高い緊張感を与える音楽
③	広々としたサーキット	150km/h	高い楽しさと高い緊張感を与える音楽
④	道幅が狭く、霧がかかった街	40km/h	低い楽しさと高い緊張感を与える音楽
⑤	森の曲がりくねった道	20km/h	低い緊張感（くつろぎ感）を与える音楽
⑥	飛行機で自由に飛行する	60km/h	高い不快感と緊張感を与える音楽

示をせず、自由に運転させた。表 1 に各刺激の詳細を示す。

### 2.4 計測方法

実験参加者の生体信号が安定してから刺激終了までの約 28 分間、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、ETCO2、皮膚電位、皮膚温、皮膚湿度、瞬き回数、瞬き回数変動を計測した。心拍、呼吸信号、皮膚電位、瞬き回数は 1kHz、皮膚温度・皮膚湿度は 2Hz でサンプルして計測した。心拍周期、呼吸周期、ETCO2 は 5 秒おきに得られた信号を前後 30 秒で平均したものを使用し、瞬き頻度に関しては 1 秒ごとに前後 30 秒間で回数を平均したものを使用した。

### 2.5 主観評価

系列カテゴリ法を用いて実験開始から 2 分間隔で不快感・楽しさ・緊張感を実験参加者に 0-10 の 11 段階で回答させた。不快感を全く不快に感じなければ 0、我慢できないような強い不快感を 10。楽しさは全く楽しくなければ 0、夢中になるほどに楽しければ 10。緊張感は寛いでいれば 0、寛げずに焦るくらい緊張していれば 10 とした。また、他の実験参加者に回答が聞こえないようにヘッドセットを装着させた。回答の際はマイクを通じて小さな声で評価を答えさせることで他の実験参加者の主観評価に影響が出ないようにした。

## 3. 結果

### 3.1 主観評価

実験参加者の主観評価の結果を図 1 に示す。ただし、視覚刺激は 4 分毎に切り替わり、順に刺激①～⑥とする。不快感は徐々に上昇し、刺激⑤、⑥で下降した。楽しさは刺激③まで上昇し、刺激④、⑤で下降し刺激⑥で上昇した。また、緊張感は刺激①では低く、他はほぼ横ばいだった。主観評価間の相関係数は不快感・楽しさ間で 0.129、楽しさ・緊張感間で 0.293、緊張感・不快感間で 0.369 と小程度の相関が見られた。

### 3.2 生体信号

計 43 試行のうち、ノイズがひどかったものや、途中退席したデータを除いた計 41 試行（一部信号のみ除去したものも含む）について、各生体信号の刺激前に対する変化率、変化の大きさの平均推移を図 3(a)～(l) に示す。呼吸周期ははじめ低位で推移し、刺激④で急激に上昇してから少し低くなった。呼吸周期変動は始めに低く推移したが、刺激②から上昇し、刺激⑤、⑥で徐々に減少した。ETCO2 は

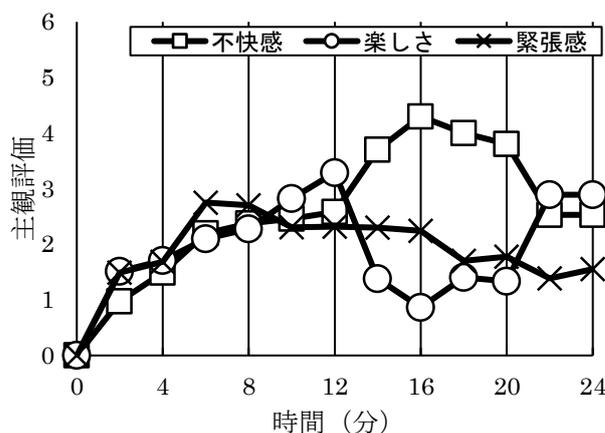


図 1：各主観評価の変化

全体を通して横ばいだが、刺激④と刺激⑥で若干の変化が見られた。副交感神経は刺激②まで減少し、刺激③、④で上昇し、刺激⑤で減少し、刺激⑥で上昇した。交感神経は副交感神経とほとんど逆の変化をした。心拍周期は全体を通して上昇したが、刺激③、⑤で落ち込みが見られた。心拍周期変動は①、③、⑤で落ち込み、②、④、⑥で上昇した。皮膚電位は刺激②まで上昇し、刺激③で落ち込み、刺激④から上昇した。皮膚表面温度は徐々に下降していき、刺激⑥で急激に落ち込んだ。皮膚表面湿度は刺激②で減少し、刺激③で上昇するが、刺激④から落ち込みが続いた。瞬目は刺激③、⑤で急激な上昇が見られた。瞬目変動は刺激③まで上昇し、刺激④で落ち込み、上昇が続いた。

### 3.3 共分散構造分析

取得した主観評価と生体信号を用いて共分散構造分析を行った。先行研究より 3 つの因子があると考えたが、映像刺激を変更したことにより、主観評価が上下するために

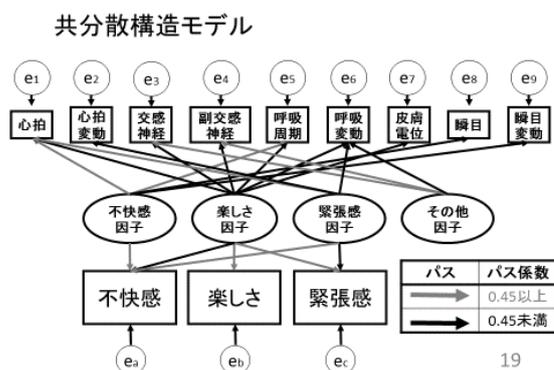


図 2：提案した共分散構造モデル

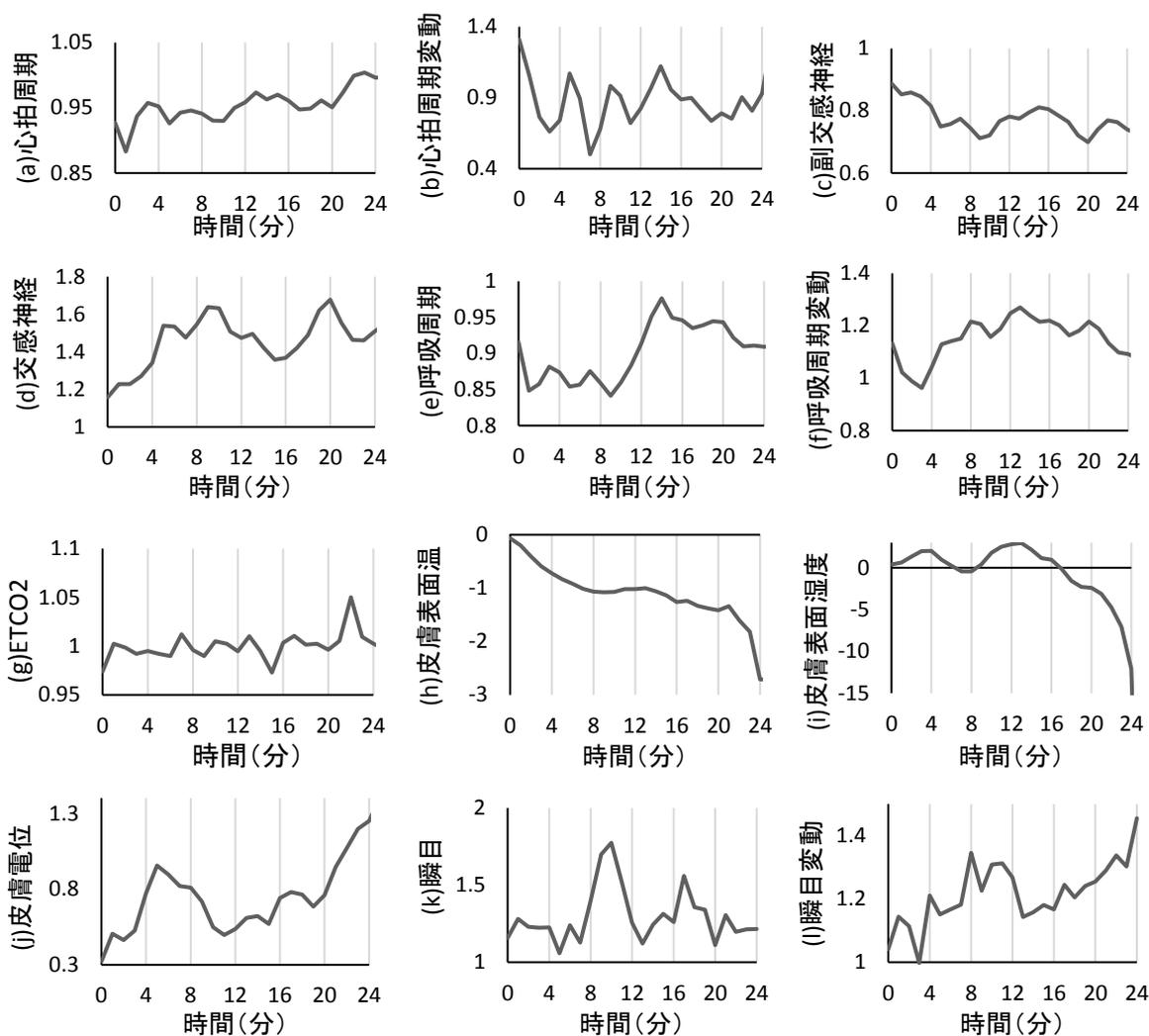


図3：各生体信号の活動の推移

表2：決定係数

主観評価	決定係数
不快感	0.723
楽しさ	0.306
緊張感	0.379

変化する因子があると考え、4つ目の因子を追加した。4つ目の因子は他の3つの因子と直交するものとして扱った。図2は作成したモデル図である。パス係数が0.1以下のパスや、有意水準を満たしていないパスについては削除した。このモデルの適合度は GFI:0.983、NFI:0.895、RMSEA:0.032 となり、モデルが適合していることが示された。このモデルの決定係数を表2に示す。不快感の決定係数は0.7を超え、有意性がある。しかし楽しさや緊張感について決定係数が0.3付近と低く、うまく推定できていない。

#### 4. 考察と今後の展望

不快感、楽しさ、緊張感を変化させるために3Dドライビングシミュレータを用いて、6つのコースを実験参加者に見せ、実験参加者が感じる不快感、楽しさ、緊張感を評価させた。その結果、不快感は徐々に上昇し、サイバー酔いを誘起させることができ、サイバー酔いの発症を実験参加者が不快を感じる前に検出するという目的のためには十分な不快感が得られたと思われる。かつ主観評価がそれぞれ変化することで、強度が異なるような評価を取得することができた。しかし、今回の共分散構造分析では主観評価の決定係数が低い結果となってしまった。そこで、次回の実験ではデータの分散を小さくするために、同一人物に複数回実験に参加させ、データを取ることで個人についてモデルを作成することを考える。

#### 参考文献

[1]加藤幸洋、榊原瞳、石崎千穂、河合敦夫、井須尚紀；「サイバー酔いの影響による生体生理信号の変化」、第12回情報科学学術フォーラム講演論文集、12：407-412、2013