

遠心力に応じたモーションベースと映像の傾斜がシミュレータ酔いを低減する効果

Tilt of a Motion base and Vision Depending on Centrifugal force Reduces Driving Simulator Sickness

古居 侑也† 西原 みどり† 井上 康之† 河合 敦夫† 井須 尚紀†

Yuya Furui, Midori Nishihara, Yasuyuki Inoue, Atsuo Kawai, Naoki Iku

## 1. はじめに

自動車学校や運転者教習などでドライビングシミュレータが用いられている。しかし、シミュレータを運転するとシミュレータ酔いが生じてしまう。これは実際の自動車を運転する感覚とシミュレータ運転時に感じる感覚との相違によって引き起こされるものである[1]。また、通常の乗物酔いと同様に視覚と前庭感覚間の感覚情報の矛盾もシミュレータ酔いの大きな原因であると考えられる。本研究では、モーションベース付きドライビングシミュレータを運転する際のシミュレータ酔いを抑えるため、カーブ走行時に発生する遠心力に比例した力が運転者に作用するようにモーションベースを傾斜させ、映像をモーションベースと異なる角度で傾斜させた。モーションベースだけでなく、映像を傾斜させ、身体および頭部の傾斜を制御することで不快感の低減を計ろうとした。

## 2. 実験方法

### 2.1 被験者

18歳～23歳の学生26名(男性15名、女性11名)の被験者を用いて総計38回の実験試行を実施した。書面による被験者の同意を取得し、三重大学大学院工学研究科実験倫理委員会の承認の下に実験を実施した。各被験者には1回の実験で40試行を行わせ、総計1436試行の運転と評価を行わせた。このうち最初の8試行(総計304試行分)は被験者には伝えていないが運転および主観評価の回答に慣れるための練習試行とし後述の結果には含めていない。

### 2.2 実験装置

縦2.60m×横10.0mの円筒型スクリーンに円偏光方式による3D映像を投影した。スクリーンの中央から4.0m前方に被験者の頭部が位置するようにモーションベースとコクピットを設置した。この位置からの3D映像の水平視角は124degであり、垂直視角は36degであった。被験者には3Dで見るための偏光メガネと、頭部運動を計測するための3軸姿勢センサを取り付けたスイミングキャップを装着させた。被験者に3D映像以外に与える視覚刺激を少しでも減らすために、実験室の天井、床、壁を黒い布などで覆い、外からの光やスクリーン以外からの反射光を減らした暗室で行い、室温は22℃程度に設定し、音響には7.1chサラウンドシステムを用いて、音楽と自動車の走行雑音を流した。

### 2.3 シミュレータ

シミュレータは、コクピットのアクセル・ブレーキ・ステアリングの入力により操作され、本実験では、カーブ走行時に発生する遠心加速度に応じて、映像とモーションベースを傾斜させた。映像傾斜角は、遠心加速度  $F_c$  に係数

$k(k = -0.2, 0, 0.1, \dots, 0.6$  の8種類)をかけた値と重力加速度  $G$  の合力がなす角  $\theta_k$  とした( $\theta_k = \arctan(k \cdot F_c / G)$ )。モーションベース傾斜角も映像同様、遠心加速度  $F_c$  に係数  $m(m = 0.2, 0.4$  の2種類)をかけた値と重力加速度  $G$  の合力がなす角  $\theta_m$  とした( $\theta_m = \arctan(m \cdot F_c / G)$ )。

### 2.4 走行コース

走行コースとして、日中晴天下で40mの直線区間と90°曲がる72.5mのクロソイド様カーブ区間とが交互にある一本道を作成し、時速36kmで走行するものとした。カーブは左→右→右→左の順とし、一回の運転時間は47秒とした。また、走行コースの風景は同じ道路設計で二種類(海沿いコース、市街地コース)を用意した。

### 2.5 実験手順

モーションベース係数  $m = 0.2$ 、 $m = 0.4$  で、各19回の実験を行った。連続する8試行を1セッションとし、1実験で5セッションを行った。最初の1セッションを練習試行、残りの4セッションを本試行とした。また各被験者間と被験者内での映像係数  $k$  は順序効果を打ち消すように配置した。試行間には20秒の評価時間を設け、その間に直前の試行における不快感、運転のしやすさ、走行感の3つの評価項目を0～10の数値尺度で回答させた。また、セッション間には3分の休憩時間を設けた。走行コースは、2種類の風景を、練習試行では試行ごとに交互、本試行ではセッションごとに交互に設定した。

## 3. 結果

3つの主観評価値のいずれかが、すべての試行で同じだった被験者など7名のを除き、19名31実験試行で取得したデータの解析を行った。

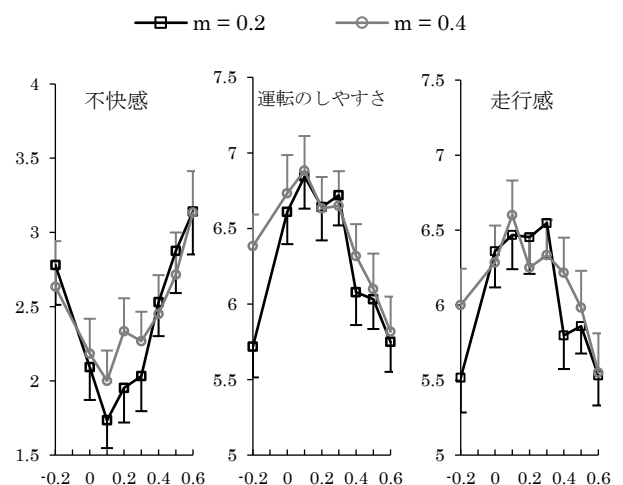


図1 モーションベース係数別主観評価値

3.1 主観評価

被験者が回答した主観評価値のスコアの平均と標準誤差を、映像係数  $k$  を横軸にとり、モーションベース係数別に表したものが図 1 である。映像係数  $k = 0.1$  の時に不快感が最も低くなる結果となり、運転のしやすさ、走行感においても、係数  $k = 0.1$  の時に高い評価を得た。この 3 つの主観評価項目に関して、モーションベースの傾斜によらず、映像係数が  $k = 0.1$  付近で最良となった。運転経験別による差異を見るため、普段の運転頻度の高い被験者 6 名 10 実験試行と、普段の運転頻度の低い被験者 13 名 21 実験試行で分けて、映像係数  $k$  の効果を示したものが図 2 である。不快感は、運転頻度の低い人に比べ、運転頻度の高い人の方が、不快感のスコアの平均値が有意に高くなったが、両群とも、映像係数  $k = 0.1$  の時に最も低くなる結果となった。運転のしやすさ、走行感については、映像係数  $k = 0.1$  の時に高い評価となる結果を得られ、運転経験による有意な差は認められなかった。なお、実験前に被験者に回答させた動揺病感受性調査票(MSSQ)の結果より、運転頻度で分けた二群での動揺病の感受性は同等であったため、運転頻度による不快感の差があったと推測される。

3.2 頭部運動

被験者の頭部運動を解析した。図 3 は、映像に対する頭部の傾斜角(ロール)を映像係数別に表したものであり、正の方向がカーブの外側である。モーションベース係数  $m = 0.2, 0.4$  どちらにおいても、映像係数  $k = 0.1$  の時に急な動きが少なかった。カーブ区間における角速度の実効値を係数別に求めたものが図 4 である。映像に対する頭部運動は、網膜上の視野の運動と捉えられ、視運動の大きさは、 $k = 0.1$  の時最小となっていた。

4. 考察

実際の自動車を運転する感覚とシミュレータ運転時に感じる感覚との相違やシミュレータ運転時に得られる視覚情報と前庭感覚情報に生じる感覚の矛盾がシミュレータ酔いの主な原因である。本実験では、カーブ時の遠心加速度に応じてモーションベースに傾斜を与えるだけでなく、モーションベースと異なる映像傾斜を与えることで、身体

および頭部の傾斜を制御し、シミュレータ酔いを抑制する映像呈示法について検討した。実験結果から、視野映像を遠心加速度の 10% ( $k = 0.1$ ) と重力加速度の合力の向きに傾けた時、シミュレータ酔い低減に最も効果的である可能性が示された。本実験では、2 つのモーションベース係数の違いにより、モーションベースの傾きには 2 倍(最大  $4^\circ$  程度)の違いがあったにも拘らず、不快感が低減する映像係数の大きさに違いが無かったことを頭部運動から考察する。視野映像を傾斜させることで頭部運動が誘導される。遠心加速度の 10% と重力加速度の合力の向きに視野映像を傾けた時、視野と頭部の相対速度が最も低くなった。つまり、網膜上で映像が動いていないということになる。先行研究 [2]にて、運転者が回転の感覚を感じると、不快感の増加に影響を与えている可能性が示されており、映像係数  $k = 0.1$  の時に網膜上で映像が最も動いていないことが、運転者は回転感覚を感じずに、身体と頭部の傾斜から遠心加速度の感覚を得ることができるため、不快感低減につながったと思われる。

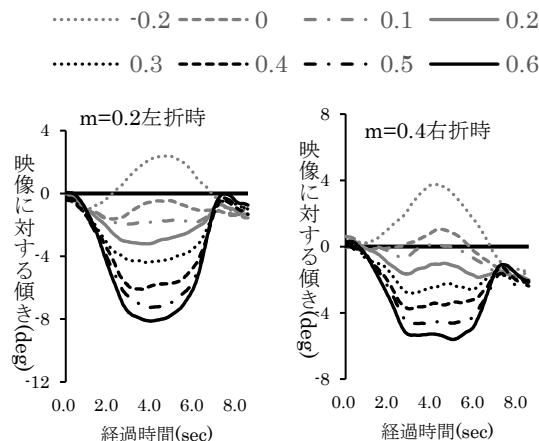


図 3 映像に対する映像係数別頭部運動

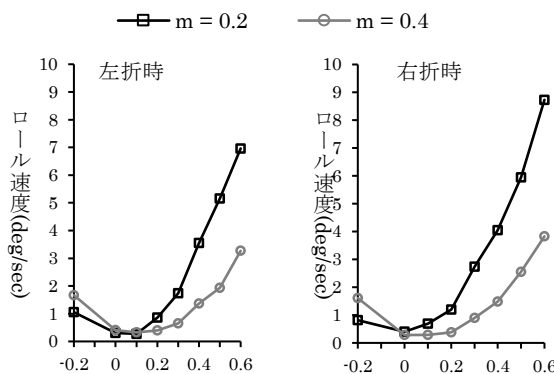


図 4 右折左折とモーションベース係数別視運動刺激

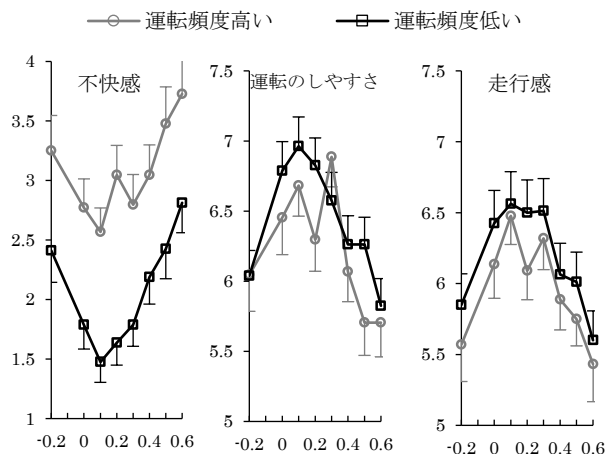


図 2 運転経験別主観評価値

参考文献

- [1] Crowley JS, Simulator sickness: a problem for army aviation, Aviat Space Environ Med 58:355-357(1987).
- [2] 山科貴史, 修士論文「遠心加速度に応じた映像傾斜がシミュレータ酔いを与える効果」(2015).