



# 車両旋回運動を表す縞模様 CG の AR 提示が 後部座席乗員の動揺病に及ぼす影響

Effect of AR Presentation of Striped CG Representing Vehicle Turning Motion on Motion Sickness in Rear-Seat Passengers

佐藤勇起<sup>1)</sup>, 杉浦琳<sup>2)</sup>, 和田隆広<sup>3)</sup>

Yuki SATO, Rin SUGIURA, and Takahiro WADA

- 1) 茨城大学 学術研究院応用理工学野 (〒316-0033 茨城県日立市中成沢町 4-12-1, yuki.sato.vx59@vc.ibaraki.ac.jp)
- 2) 茨城大学 理工学研究科 (〒316-0033 茨城県日立市中成沢町 4-12-1, 25nm741r@vc.ibaraki.ac.jp)
- 3) 奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 (〒630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5, t.wada@is.naist.jp)

**概要:** 車の後部座席で読書や動画視聴などを行うと車外視覚情報が遮られ、動揺病(乗り物酔い)の悪化が懸念される。感覚矛盾説では、視覚や前庭感覚などの多感覚情報の実際と予測との不一致が動揺病の一因とされている。本研究では、車両旋回運動を表す縞模様 CG を AR で後部座席乗員周囲に提示し、車の動きの視覚的補完による動揺病軽減の可能性を検討した。実車を用いた予備実験に 4 名が参加し、感受性が高い参加者では全指標で動揺病が軽減した一方、低感受性者では一部指標で悪化が見られた。CG 同期精度や刺激強度の最適化が今後の課題と示唆された。

**キーワード:** 動揺病, 感覚矛盾説, バクション, 車両旋回運動

## 1. はじめに

自動運転技術やスマートデバイスの普及に伴い、運転以外の車内活動が増える一方で、動揺病(乗り物酔い)の悪化が懸念されている。感覚矛盾説[1]では、視覚や前庭感覚などの実際の多感覚情報と、過去の経験に基づく予測との不一致が、動揺病の一因とされている。特に後部座席では、動画視聴などにより車外視覚情報が遮断されることで車両運動の視覚的把握が困難となる一方、前庭感覚では加減速や旋回などの運動を知覚できるため、感覚矛盾の発生が懸念される。したがって、車両運動を視覚的に補完することにより、感覚矛盾の軽減を通じて動揺病の発症・悪化を抑制できる可能性がある。

先行研究では、車載ディスプレイによる車両運動の視覚的補完が動揺病軽減に有効であることが報告されている。例えば、森本らの研究[2]では、車載ディスプレイに車の動きに応じた模様を表示することで、動揺病の軽減効果が示された。しかし、車載ディスプレイには画面サイズや設置位置に物理的制約があり、提示の自由度や快適性に限界がある。

VR デバイスを用いた手法では、仮想空間内に表示される CG により制約を回避できる。McGill ら[3]は、VR 内の動画視聴中に草原 CG を提示し、車両運動の視覚補完による動揺病軽減の可能性を示した。しかし、VR では周囲視

界が遮断されるため、読書やスマートフォン操作といった車内活動が困難になる。

AR デバイスでは、フロントカメラを通じて車内が視認可能であり、VR 手法の課題を回避できる。Sasalovici ら[5]は、助手席からフロントガラス越しに車外視覚情報を提示し、動揺病への影響を調査した。しかし、後部座席ではヘッドレストや前席シートの遮蔽によりこの手法の適用は困難である。したがって、後部座席においても適用可能な車両運動提示手法が求められている。

本研究では、先行研究の課題を踏まえ、後部座席で HMD の仮想ディスプレイで動画視聴を行う際に、車両の旋回運動を反映した縞模様 CG を AR 空間に提示することで、動揺病に与える影響を検証することを目的とした。この CG 提示手法は、車載ディスプレイや VR デバイスの課題(設置制約や視界遮断)を回避でき、また従来の AR によるフロントガラス提示とは異なり、後部座席乗員にも運動情報を提示可能である。実車を用いた予備実験を 4 名の参加者で実施し、CG 提示の有無による動揺病指標の変化を評価した。本研究は、将来的な自動運転社会における車内活動の快適性向上に資する、動揺病軽減技術の基礎的知見を提供することを目指す。

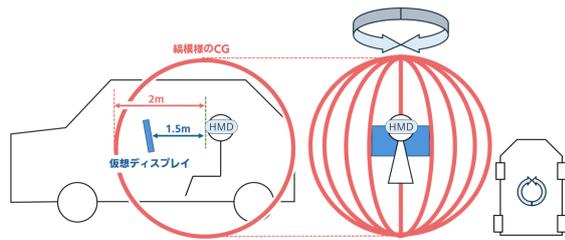


図 1: 車両旋回運動を表す縞模様 CG の AR 提示

## 2. 方法

### 2.1 参加者

茨城大学の学生 4 名 (男性) が参加した。参加者の年齢は、18~22 歳で、平均は  $19.8 \pm 1.1$  歳であった。4 名の参加者の Motion Sickness Susceptibility Questionnaire (MSSQ) のスコアは、それぞれ 82.2, 64.4, 44.7, 49.8 パーセントイルで、Visually Induced Motion Sickness Susceptibility Questionnaire (VIMSSQ) のスコアは、それぞれ 6, 9, 5, 9 であった。MSSQ とは、さまざまな交通手段での過去の動揺病経験の頻度に基づいて動揺病の感受性を評価する指標である。また VIMSSQ は、さまざまな視覚デバイスやディスプレイを使用した場合の視覚誘発性動揺病 (VIMS) の症状の頻度に基づいて VIMS の感受性を評価する指標である。

全ての参加者は、研究の目的や仮説について一切知らされていなかった。参加前にインフォームドコンセントを取得し、謝礼として Amazon ギフトカード (2000 円相当) を支給した。本研究は、茨城大学生命倫理審査委員会によって承認され (許可番号: 230800)、関連するガイドラインと規制に従って実施された。

### 2.2 車両旋回運動を表す縞模様 CG の AR 提示

HMD (Meta Quest 3, Meta) のパススルー映像上に、車両のカーブ運動を CG で可視化する AR システムを Unity で開発した (図 1)。HMD 前方 1.5 m に仮想ディスプレイを配置し動画を表示し、HMD を中心とする半径 2 m の球面内側に、車両の旋回方向と逆向きに回転する白黒の縞模

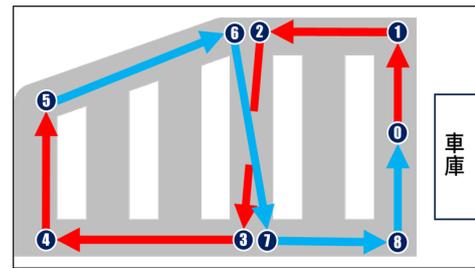


図 2: 走行コース

様 CG を表示した。車両に固定したスマートフォンの地磁気センサーにより、車両方位と北の角度差を検出し、この情報を HMD に送信することで、縞模様を逆方向に回転させた。地磁気データに含まれる車両の振動や傾きによるノイズは、スマートフォンのジャイロセンサーにより上下方向を補正し、さらに地磁気データ 20 フレーム分をベクトルに変換・合成し角度を推定した。スマートフォンは、後部座席ヘッドレストのホルダーに固定した。スマートフォンと HMD 間の通信遅延は、平均 1.38 秒であった。

### 2.3 走行コースと HMD 動画注視課題

茨城大学日立キャンパスの駐車場を走行コースとした (図 2)。スタート地点 (0) から番号順に進み、0 の地点に戻る周回走行を 10 分間繰り返した。走行速度は最大 20 [km/h]、右左折時は 15 [km/h] とした。

参加者は、車 (アクア、トヨタ自動車) の運転席後方の座席に着席し、HMD を装着した。HMD の仮想ディスプレイに表示した動画を注視する課題を実施し、1 分毎に口頭で動揺病の重症度を評価するアンケートに回答した。

### 2.4 実験要因

実験要因は、車体の動きを反映する縞模様 CG 映像であり、「縞模様 CG あり」と「縞模様 CG なし」の 2 水準であった。いずれの水準においても、参加者は HMD を装着した。「縞模様 CG あり」条件では、縞模様 CG が表示され、「縞模様 CG なし」条件では縞模様 CG が表示されなかった。

### 2.5 動揺病の評価指標

動揺病の重症度を評価するために、4 種類の指標を用いた: Misery Scale (MISC), Total Symptom Score (TSS), Simulation Sickness Questionnaire (SSQ), および Relative Evaluation Questionnaire (REQ) である。加えて、自由回答形式のアンケートで、動揺病の変化やシステムの印象を調査した。

2.5.1 Misery Scale (MISC)

MISCは0から10までの11段階により、動揺病の重症度を評価する尺度である。0は無症状、1は漠然とした不快感、2~5は頭痛や発汗など吐き気以外の症状、6~9は吐き気の重症度、10は嘔吐を表す。走行中、参加者は1分毎に口頭でスコアを申告した。スコアが6に達した場合には、直ちに走行を中止した。

2.5.2 Total Symptom Score (TSS)

TSSは9種類の身体症状(めまい、ほてり、頭痛、胃の不快感、発汗、唾液分泌、顔面蒼白、吐き気、その他)について、症状の程度を0(なし)~3(強い)の4段階で評価するものである。総得点(最大27点)をもって動揺病の重症度を総合的に判断する。評価は10分間走行後に実施した。

2.5.3 Simulation Sickness Questionnaire (SSQ)

SSQは、映像酔いに関連する16の症状(気分不快、疲労、頭痛、目の疲れなど)を0~3の4段階で評価し、悪心、眼精疲労、失見当識の3下位因子および総合スコアを算出する指標である。それぞれのスコアは既定の加重係数に基づいて計算される。この評価も走行終了直後に行った。

2.5.4 Relative Evaluation Questionnaire (REQ)

REQは、「縞模様あり」「縞模様なし」の2条件を相対的に比較し、どちらの条件でより動揺病が重症化したかを5段階で評価する主観的指標である。スコアは、縞模様ありの方が軽症であった場合は+2、どちらかといえば縞模様ありの方が軽症であった場合は+1、両条件で重症度が同じと感じた場合は0、どちらかといえば縞模様ありの方が重症であった場合は-1、縞模様ありの方が重症であった場合は-2とした。2条件をいずれも経験した後、参加者はどちらがより重症化したかを申告した。

2.5.5 自由回答形式のアンケート

参加者の動揺病の変化やシステムの印象について調査するため、6項目からなる自由回答形式のアンケートを実施した。質問内容は、走行コース、縞模様CGの提示、および動揺病の変化に関するもので、各条件の走行直後に適宜実施した。質問項目は以下の通りである。

1. タスクは動揺病の変化に影響があったか
2. 動揺病はどのように変化したか
3. カーブは動揺病に影響があったか
4. 縞模様CG映像が車の動きと一致する/しない場

面があったか

5. 縞模様CG映像は動揺病に影響があったか
  - 縞模様CG映像が車の動きと一致しているときに不快感はあったか
6. もし完全に縞模様CG映像が車の動きと一致していたら動揺病に影響があると思うか

質問1および3は1条件目の走行終了後、質問2は各条件の走行終了後、質問4および5は「縞模様CG映像あり」条件の走行終了後、質問6は2条件目の走行終了後に実施した。

2.6 手順

はじめに参加者に対して実験の概要と手順を説明し、インフォームドコンセントを取得した。その後、参加者は車の運転座席後方の座席に着席し、シートベルトを着用してHMDを装着し、HMD動画注視課題を実施した。順序効果を抑えるため、参加者AおよびBをグループ1、参加者CおよびDをグループ2とし、1日目にグループ1が「縞模様CGあり」、グループ2が「縞模様CGなし」の条件を実施した。2日目には条件を入れ替えて、同様の手順を繰り返した。

各条件で車両は10分間走行し、参加者は1分ごとにMISCスコアを口頭で申告した。走行終了後にはTSS、SSQ、および主観評価アンケート(2.5.5項)に回答した。2条件を終えた後、REQに回答した。

3. 結果

各参加者の4つの動揺病指標値(MISC10分間平均、TSS、SSQ総合スコア、REQ)を表1に示す。

3.1 Misery Scale (MISC)

各参加者の10分間のMISCスコア平均に関して、参加者AおよびBでは「縞模様CGあり」条件において「なし」条件より低下した。特に、動揺病感受性が高い参加者A(MSSQ:82.2)は、スコアが2.6から0.6へと大きく(差分2.0)低下した。一方、参加者CおよびDでは「なし」

表1: 各参加者の4つの動揺病評価指標値

参加者	A		B		C		D	
MSSQ	82.2		64.4		44.7		49.8	
縞模様CG	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし
MISC	0.6	2.6	0.8	0.9	0.6	0	0.7	0
TSS	2.0	4	8	3	1	2	4	0
SSQ	7.5	29.9	53.4	11.2	15	0	29.9	0
REQ	2		-1		-1		-2	
縞模様CGありの方が	軽症化		重症化		重症化		重症化	

条件でスコアが最低値（全時間 0）を示し、「あり」条件では改善が見られなかった。

### 3.2 Total Symptom Score (TSS)

各参加者の TSS スコアに関して、「縞模様 CG あり」条件は「なし」条件と比較して、参加者 A および C ではスコアが低下した。一方、参加者 B および D ではスコアが増加した。

### 3.3 Simulation Sickness Questionnaire (SSQ)

各参加者の SSQ 総合スコアに関して、「縞模様 CG あり」条件は「なし」条件と比較して、参加者 A ではスコアが低下した。一方、他の 3 名（B, C, D）ではスコアが増加した。眼精疲労スコアは全参加者において増加した。

### 3.4 Relative Evaluation Questionnaire

各参加者の REQ スコアに関して、参加者 A は「縞模様 CG あり」条件の方が「なし」条件より動揺病が軽減したと評価し、スコアは+2 であった。一方、参加者 B および C は-1、参加者 D は-2 と回答し、「あり」条件の方が重症化したと評価した。

### 3.5 走行後アンケートによる主観評価

走行終了後に実施した主観評価アンケートでは、縞模様 CG 映像の動きと車両の実際の動きが一致しているときには不快感を感じなかったと全員が回答した。また、縞模様 CG 映像によって車の動きが補完されていると感じたと複数名が回答した。

一方で、CG がカーブの動きと一致しない際や逆方向に動いた際に動揺病の悪化や混乱を感じたと複数名が回答した。また、縞模様 CG に対して、全員が眼精疲労を訴え、複数名は景色が見えにくかったと複数名が回答した。

### 3.6 各参加者の 4 つの動揺病評価指標値の傾向

MSSQ スコアが最も高かった参加者 A では、「縞模様 CG あり」条件は「なし」条件と比較して、4 指標すべてでスコアが低下した。他の参加者では指標ごとに変化の方向が異なり、一部の指標ではスコアが増加した。

## 4. 議論

本研究では、後部座席で HMD 動画視聴時に、車両旋回運動を表す縞模様 CG を AR 提示し、動揺病への影響を予備的に評価した。

4 つの動揺病評価指標（MISC の 10 分間平均、TSS、SSQ、REQ）に関して、動揺病感受性が最も高かった参加者 A では、縞模様 CG あり条件において、すべての指標でスコア

が低下した。また主観評価においても、車両の動きが補完されているように感じたと複数名が回答し、縞模様 CG による旋回運動の視覚的補完が、動揺病の軽減に寄与した可能性が示唆された。

一方で、感受性が低い参加者 B, C, D においては、CG 提示による一貫した軽減効果はなかった。特に、参加者 C と D は CG なし条件において MISC スコアが全時間 0 であり、動揺病軽減の余地が少なかったと考えられる。さらに、CG の動きと車両の旋回方向との不一致や、白黒の縞模様による眼精疲労の影響が、補完効果を上回った可能性もある。実際、SSQ の眼精疲労スコアは全員で増加した。

これらの結果から、動揺病感受性が高く、AR デバイスによる動画視聴時に動揺病が悪化しやすい後部座席乗員に対しては、車両旋回運動を表す縞模様 CG の AR 提示が有効に機能する可能性がある。一方、感受性が低く、そもそも動揺病が重症化しにくい乗員では、CG による視覚的補完の恩恵が小さく、むしろ視覚刺激による疲労が動揺病の悪化につながる懸念がある。

今後は、CG の提示精度や同期性を高め、参加者数を 20 名程度に拡大した本実験を実施し、本研究の知見および仮説の妥当性を統計的に検証する予定である。

## 参考文献

- [1] Reason, J. T. (1978). Motion sickness adaptation: a neural mismatch model. *Journal of the royal society of medicine*, 71(11), 819-829.
- [2] 森本明宏：視覚誘導自己運動感覚の誘起により車酔いを低減する車載ディスプレイの開発，博士論文，三重大学大学院工学研究科，2008.
- [3] McGill, M., Ng, A., & Brewster, S. A. (2017, May). How visual motion cues can influence sickness for in-car VR. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 469-469).
- [4] Sasalovici, M., Leenders, S., Schramm, R. C., Freiwald, J. P., Botzet, H. F., Keßelheim, D., ... & Winkler, C. (2023, September). In-Car Office: Can HMD-Based AR Alleviate Passenger Motion Sickness?. In *Adjunct Proceedings of the 15th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (pp. 133-138).