



車両後部座席で HMD マルチディスプレイ視聴時の動揺病に 半球型車両前方背景映像と車速比例気流の提示が与える影響

Effects of Presenting Hemispherical Car Frontal Camera Background Images and Speed-Proportional Wind on Motion Sickness During Multi-Display HMD Use in the Rear Seat

佐藤勇起¹⁾, 佐藤龍熙²⁾, 和田隆広³⁾

Yuki SATO, Ryuki SATO, 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, 25nm736r@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: 車両後部座席で HMD のマルチディスプレイを注視すると、車外視覚や風などの触覚情報が遮断され、車両運動の手がかりが欠如して動揺病が生じやすい。本研究では、左右のディスプレイ注視に伴う頭部旋回時にも車両運動を周辺視野で把握可能な半球型車両前方背景映像と、車速に比例する気流を提示し、その動揺病軽減効果を予備的に検証した。後部座席に着座した 5 名による HMD 注視課題において、3 名に軽症化が見られた。一方、カーブ時は、拡張表示された半球型車両前方背景映像周辺部の激しい映像動作により悪化した例もあり、表示方法の改善が課題である。

キーワード: 動揺病, 感覚矛盾説, 車両前方カメラ映像, 車速比例気流

1. はじめに

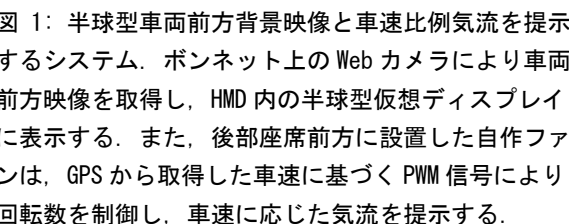
近年、自動運転車やスマートデバイスの進化により、車内での非運転活動の増加が予測されている。特にヘッドマウントディスプレイ (HMD) は仮想ディスプレイによって動画や Web ページなど複数のコンテンツを車内に配置できることから、限られた空間でも効率的なマルチタスクが可能となり注目を集めている。しかし、窓が閉まった後部座席で HMD を使用すると、車両の運動手がかりとなる、風景などの車外視覚情報や風などの触覚情報が遮断される。一方で、前庭感覚では車両の加減速などを感じられるため、現在の多感覚情報 (視覚, 触覚, 前庭感覚など) と、過去の経験に基づく予測との間で感覚矛盾が生じ、動揺病が発症すると考えられる[1]。したがって、車両の運動手がかりとなる視覚・触覚情報を補完することで、動揺病が軽減する可能性がある。

先行研究では、HMD による CG[2]やビデオシースルー映像[3]を用いた視覚補完や、気流による触覚補完[4]によって動揺病を軽減する試みが行われてきた。しかし、CG 映像は実際の道路状況を反映しておらず、ビデオシースルー映像では後部座席からの視界確保が難しいことが課題である。一方、車両前方カメラ背景映像を用いて、HMD に車外の実映像を表示することで動揺病を軽減できることが報告されている[5]。この手法では、HMD を用いて後部

座席で読書する際、車のフロントガラスの位置に固定した平面ディスプレイに車両前方カメラ映像を表示した。これにより、正面を向いた状態では、本の背景にカメラ映像が表示され、周辺視野で車の動きを知覚できるため、動揺病が軽減することが報告されている。ただしこの手法では、平面ディスプレイ上にカメラ映像が固定されるため、マルチディスプレイ使用時に左右に配置したディスプレイを見るために頭を向けた際、その背景にはカメラ映像が表示されず、視覚的手がかりの補完が不十分となる。

また、一定の強さの気流を用いた触覚補完の効果は、室内の静止環境化で自転車走行映像を注視する際に生じる映像酔い (視覚誘発性動揺病) に対して示されているものの[4]、実車走行中の車速に比例した気流の動揺病軽減効果は検証されていない。

そこで本研究では、HMD によるマルチディスプレイ注視時に、頭部旋回中でも全視野で車外視覚情報を把握可能な「半球型車両前方背景映像」と、車速に比例する気流を後部座席乗員に提示することが動揺病に与える影響を、5 名の参加者による予備的実車実験により検討することを目的とした。この手法により、平面ディスプレイによる提示手法[5]で不足していた視覚的手がかりを補い、さらに、気流を用いた提示手法[4]を拡張して車速に比例した気流を提示することで、触覚的手がかりも補完する。これによ



り、HMD によるマルチタスク時の生産性向上に資する、動揺病軽減技術の基礎的知見を提供することを目指す。

すべての参加者はインフォームドコンセントに同意し、風邪や酔いなどが無いことを確認した。また、研究の目的や仮説は事前に開示しなかった。本研究は茨城大学生命倫理審査委員会の承認を受けており（許可番号：230700）、謝礼として Amazon ギフトカード（2,000 円相当）を支給し

参加者は車（アクア、トヨタ自動車株式会社）の後部座席中央に着座し、HMD およびイヤホン（AirPods Pro 2, Apple）を装着した（図 3）。イヤホンはノイズキャンセリングモードで約 35 [dB] のホワイトノイズを再生し、走行音や気流ファンの動作音を遮蔽した。気流の受け方を統一するため、参加者には上着の袖を肘までまくり、腕を膝上に置くよう指示した。車内は窓を閉め、エアコンを停止し

た。

走行中は 3 つの仮想ディスプレイに表示される文章や動画を注視するマルチディスプレイ注視課題を行った。30 秒ごとに 1 画面ずつ表示し、参加者は表示中の 1 画面のみを注視した。1 分ごとに全ディスプレイを非表示として動揺病評価指標 (2.5.1 Misery Scale (MISC)) を提示し、参加者は HMD のコントローラを使用して回答した。

2.4 実験要因

本研究では、視覚の手がかり（車両前方カメラ映像の有無）と触覚の手がかり（車速比例気流／ランダム気流）の 2 要因 (各 2 水準) による 4 条件が設計上は想定されるが、今回の予備実験ではその中から、車両運動に関する両手がかり（視覚・触覚）の有無に着目し、手がかりあり条件（カメラ映像あり＋車速比例気流）と、手がかりなし条件（カメラ映像なし＋ランダム気流）の 2 条件に絞って比較を行った。

手がかりあり条件では、半球型仮想ディスプレイに車両前方カメラ映像を動画や文章の背景に表示し、車速に比例した気流を提示した。手がかりなし条件では、背景にグレーの静止画を表示し、車速に比例しないランダムな気流を提示した（気流の総発生量は車速比例気流とおおむね同等となるよう調整した）。

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、Misery Scale (MISC), Total Symptom Score (TSS), Simulation Sickness Questionnaire (SSQ), および Relative Evaluation Questionnaire (REQ) の 4 指標を用いた。また、参加者の動揺病やカメラ映像・気流の感じ方を調査するために、自由回答形式のアンケートも実施した。

2.5.1 Misery Scale (MISC)

Misery Scale (MISC)は、動揺病症状の重症度を 0～10 の 11 段階で評価する指標である[6]。この指標は、近年では Motion Illness Symptoms Classification (MISC)[7]とも呼ばれている。0 は無症状、1 は軽い不快感、2～5 はめまいやほてりなど吐き気を伴わない症状の重症度、6～9 は吐き気の重症度、10 は嘔吐を示す。

参加者は、10 分間のマルチコンテンツ注視課題中、1 分ごとに HMD に表示される入力画面から MISC スコアを回答した。スコアが 6 以上の場合、ただちに走行を中止した。

2.5.2 Total Symptom Score (TSS)

TSS は、動揺病の重症度をめまい、ほてり、頭痛、胃の不快感など 9 種類の症状で評価する指標である。各症状は 4 段階 (0～3) で評価され、最大スコアは 27 点となる。

参加者は、10 分間のマルチコンテンツ注視課題終了後に TSS に回答した。

2.5.3 Simulation Sickness Questionnaire (SSQ)

SSQ は、映像酔いの重症度を、全般的な気分の悪さ、疲労感、頭痛、目の疲れなど 16 種類の症状で評価する指標である。各症状は 4 段階 (0～3) で評価され、悪心スコア、眼精疲労スコア、失見当識スコア、および総合スコアを、

既定の加重係数に従って算出した。

参加者は、10 分間のマルチコンテンツ注視課題終了後に SSQ に回答した。

2.5.4 Relative Evaluation Questionnaire (REQ)

REQ は、各条件下の動揺病の重症度を相対的に評価する指標である。5 段階で評価し、手がかりあり条件（カメラ映像あり＋車速比例気流）の方が手がかりなし条件（カメラ映像なし＋ランダム気流）より重症化した場合は-2、どちらかといえば重症化した場合は-1、同じ重症度であれば 0、どちらかといえば軽症化した場合は+1、軽症化した場合は+2 とした。

参加者は、両条件でのマルチコンテンツ注視課題をいずれも終了した後に REQ に回答した。

2.5.5 自由回答形式のアンケート

以下の 5 項目の自由回答形式のアンケートにより、参加者の動揺病やカメラ映像・気流の感じ方を調査した。

- 1) 動揺病はどのように変化したと感じたか。また、いつから重症化したと感じたか。
- 2) マルチコンテンツ注視課題をどのように感じたか。
- 3) カーブや発進時にどのように感じたか。また、動揺病に影響したと感じたか。
- 4) カメラ映像および気流をどのように感じたか。また、動揺病に影響したと感じたか。
- 5) ※2 回目のみ：1 回目と比べてどのように感じたか。

2.6 手順

はじめに、参加者に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。参加者は後部座席中央に着席し、シートベルトを着用のうえ HMD とイヤホンを装着し、マルチディスプレイ注視課題を実施した。

順序効果を緩和するため、参加者 A および C をグループ 1、参加者 B、D、E をグループ 2 とし、1 日目にはグループ 1 が手がかりなし条件（カメラ映像なし＋ランダム気流）、グループ 2 が手がかりあり条件（カメラ映像あり＋車速比例気流）を実施した。2 日目には条件を入れ替え、それぞれ同様の手順を繰り返した。

車両はマルチディスプレイ注視課題中に 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、および自由回答形式のアンケート (2.5.5 項) に回答し、2 日目はさらに REQ にも回答した。

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。

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		E	
MSSQ	16.6		64.4		44.7		49.8		49.8	
VIMSSQ	3		8		8		10		5	
手がかり	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし
MISC	0.1	1.0	0.0	0.7	1.6	2.1	0	0	2.1	1.0
TSS	0.0	4.0	1.0	1.0	3.0	3.0	1.0	0	4.0	2.0
SSQ	3.7	15.0	3.7	11.2	11.2	7.5	3.7	0	22.4	11.2
REQ	2		2		0		0		-2	
手がかりあり条件	軽症化		軽症化		軽症化		重症化		重症化	

3.1 Misery Scale (MISC)

MISC の 10 分間平均スコアでは、手がかりあり条件（カメラ映像あり＋車速比例気流）において、参加者 A, B, C で手がかりなし条件（カメラ映像なし＋ランダム気流）よりスコアが低下した。一方、参加者 E では増加し、参加者 D は両条件ともスコアが 0 であった。

3.2 Total Symptom Score (TSS)

TSS スコアは、参加者 A で手がかりあり条件において低下した。一方、参加者 D および E ではスコアが増加した。また、参加者 B および C では両条件でスコアは同じであった。

3.3 Simulation Sickness Questionnaire (SSQ)

SSQ 総合スコアは、参加者 A および B で手がかりあり条件において低下した。一方、参加者 C, D, E では増加した。

3.4 Relative Evaluation Questionnaire

REQ スコアでは、参加者 A および B が手がかりあり条件の方が手がかりなし条件に比べて「軽症化した (+2)」と評価し、参加者 C は「どちらかといえば軽症化した (+1)」と評価した。一方、参加者 D は「両条件で同程度 (0)」と評価し、参加者 E は「重症化した (-2)」と評価した。

3.5 自由回答形式のアンケート

手がかりあり条件において、参加者 A, B, C, D は「カメラ映像によって動揺病が重症化しにくかった」と回答した。一方、参加者 E は「カーブ時にカメラ映像の視覚刺激が強く、動揺病が重症化した」と回答した。また、手がかりなし条件では、参加者 A, B, C, D が「カメラ映像がないことで動揺病や乗り心地の悪さを感じた」と回答し、参加者 C は「気流をより強く感じた」と述べた。

3.6 各参加者の 4 つの動揺病評価指標値の傾向

手がかりあり条件は手がかりなし条件と比較して、参加者 A で 4 指標すべてが改善、参加者 B で 3 指標が改善、参加者 C で 2 指標が改善し 1 指標が悪化し、総じて軽症化傾向を示した。一方、参加者 E では 4 指標すべてが悪化し、重症化傾向を示した。参加者 D は手がかりなし条件において 3 指標が 0 であったため改善余地がなく、手がかりあり条件では 2 指標が悪化し、重症化傾向が見られた。

4. 議論

本研究では、車両後部座席で HMD を用いたマルチディスプレイ視聴時に、左右のディスプレイ注視に伴う頭部旋回時にも車両運動を周辺視野で把握可能な半球型車両前方背景映像と車速比例気流を提示し、動揺病への影響を予備的に検証した。

4 つの動揺病評価指標（MISC 平均、TSS、SSQ、REQ）において、参加者 A は全指標で軽症化、B は 3 指標で軽症化、C も 2 指標で軽症化し、カメラ映像や気流によって動揺病が軽減されたとの主観評価も得られた。一方、参加者 E では全指標で悪化し、D は手がかりなし条件でスコアが

0 であったため改善の余地がなく、手がかりあり条件で悪化が見られた。

車両前方カメラ背景映像に関しては、「車両の動きが把握しやすくなり、酔いにくかった」という意見が多く、一方で「カーブ時に映像の動きが激しく、酔いやすかった」という意見もあり、半球型ディスプレイで拡張表示された周辺映像の改善が課題である。また、車速比例気流は「違和感が少ない」、「発進のタイミングが分かりやすい」と評価され、触覚的手がかりとして有効に機能した可能性がある。

今後は、カメラ映像と気流の提示方法を改善するとともに、「カメラ映像あり＋ランダム気流」や「カメラ映像なし＋車速比例気流」といった他条件も含めた本実験を参加者数を増やして実施し、それぞれの要素の効果を定量的に検証する必要がある。

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] 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).
- [3] 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).
- [4] D'Amour, S., Bos, J. E., & Keshavarz, B. (2017). The efficacy of airflow and seat vibration on reducing visually induced motion sickness. *Experimental brain research*, 235(9), 2811-2820.
- [5] 佐藤勇起, 諏訪司, 和田隆広: HMD に表示された本の背景に車両前方カメラ映像を提示することが動揺病に与える影響, 第 46 回日本神経科学大会, 2023.
- [6] Bos, J. E., MacKinnon, S. N., & Patterson, A. (2005). Motion sickness symptoms in a ship motion simulator: effects of inside, outside, and no view. *Aviation, space, and environmental medicine*, 76(12), 1111-1118.
- [7] Reuten, A. J. C., Nooij, S. A. E., Bos, J. E., & Smeets, J. B. J. (2021). How feelings of unpleasantness develop during the progression of motion sickness symptoms. *Experimental brain research*, 239(12), 3615-3624.