

TV 視聴時の車酔い低減対策

Countermeasures against Carsickness Enhanced by Watching an Onboard Video Display

森本 明宏† 奥村 友裕† 日高 教孝† 朴 丹† 荒木 佑介† 榎井 文人† 河合 敦夫† 井須 尚紀†
 Akihiro Morimoto Tomohiro Okumura Noritaka Hidaka Dan Piao Yusuke Araki Fumito Masui Atsuo Kawai Naoki Isu

1. まえがき

自動車に乗車中に地図を見たり本を読んだりすると、車酔いを起こしやすいことが良く知られている。視覚と平衡感覚間に自己運動感覚の矛盾が発生するために、車酔いが発症すると考えられている[1]。

近年、自動車の後部座席で TV 視聴を行う状況が増えてきているが、この時も視覚と平衡感覚間に感覚矛盾が発生するため、車酔いが発生しやすい。我々は、TV 視聴を行うと、TV 視聴しない普通乗車に比べて約 2 倍に車酔い不快感が増強することを報告した。これは読書に比べると 2 割減の車酔い不快感であった[2][3]。乗車中に TV 視聴を行うと、視覚からは TV に映された映像世界での動きが知覚されるため、平衡感覚によって知覚される運動感覚情報との矛盾が増大し、車酔いが増強したと考えられる。

本研究では、乗車中での TV 視聴時の車酔い低減対策を考案し、実車走行実験で効果を検証した。車酔いは右左折の多い道路や、加減速時に発症しやすいことが知られている[4]。そこで本稿では車の右左折時に発症する車酔いを低減することを目的として、車の Yaw 回転に対する対策について有効性を検証した。

2. 対策案

2.1. 対策の基本的な考え方

TV を視聴しながら、視覚から車の動きを運動感覚として与えることにより、視覚と平衡感覚間の感覚矛盾を減少させて車酔いを低減することを対策のコンセプトとした。視覚から車の Yaw 回転の情報を与える映像、すなわち自分が回転しているような視覚誘導自己運動感覚（サーキュラーベクション）を与える映像を TV 映像に付加し、平衡感覚との感覚矛盾を減少させる。

2.2. 対策案 1

映像に奥行き感がある時、ベクションは主に背景と感じられる映像の動きによって発生する[5]。そこで TV 映像の周りに背景と知覚される映像を描画し、車の Yaw 回転の情報を与える

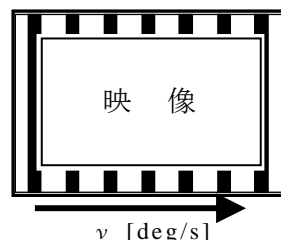


図 1. 対策案 1 の概要 (縦縞)

ことにした。

図 1 に示すように背景映像として縦縞のストライプを用いた（以下、“縦縞”と記す）。車の Yaw 回転の角速度 $\omega(t)$ [deg/s] を計測し、その角速度に比例した速さ $v(t)$ [deg/s] で背景映像の縦縞を左右に動かした。ここで $v(t)$ は背景映像を距離 50[cm] の視点から見たときの縦縞移動の角速度であり、

$$v(t) = -a \times \omega(t) \cdots \cdots (1)$$

で与えた。縦縞の移動方向は車の Yaw 回転と逆方向であり、車が右方向に曲がる場合は背景映像を左に、車が左方向に曲がる場合は背景映像を右方向に移動した。式(1)の比例係数 a は、後述する予備実験を参考に決定した。

2.3. 対策案 2

図 2 に示すように、車の Yaw 回転の角速度 $\omega(t)$ [deg/s] に合わせて TV 映像を台形化（横方向に短縮、左右辺を伸長・短縮）することにより、あたかも映像を映写している仮想スクリーンが、横方向の中心を軸として回転角 $\theta(t)$ [deg] の水平回転をするかの様に表示した（以下、“台形”と記す）。回転角 $\theta(t)$ は、車の Yaw 回転の角速度 $\omega(t)$ と比例するように、

$$\theta(t) = -b \times \omega(t) \cdots \cdots (2)$$

で与えた。回転方向は車の Yaw 回転と逆方向とし、車が右方向に曲がる場合は仮想スクリーンを反時計回りに、車が左方向に曲がる場合は仮想スクリーンを時計回りに回転した。式(2)の比例係数 b は、後述する予備実験を参考に決定した。

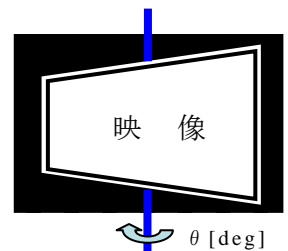


図 2. 対策案 2 の概要 (台形)

2.4. 対策案 3

図 3 に示すように、対策案 1 と対策案 2 を合成して表示した（以下、“縦縞+台形”と記す）。すなわち縦縞のストライプの背景映像を左右に動かし、TV 映像を台形化した。縦縞移動の角速度および仮想スクリーンの回転角は、それぞれ対策案 1、2 と同様

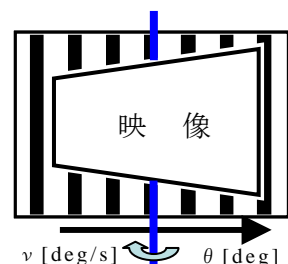


図 3. 対策案 3 の概要 (縦縞+台形)

† 三重大学 工学部

‡ 松下電器産業(株) パナソニックオートモーティブシステムズ社

3. 予備実験

上記の対策案では、視運動刺激によって生じる視覚誘導自己運動感覚を、平衡感覚で知覚される車のYaw回転の感覚に一致させることが重要である。適切な映像の動きを求めるために、実車走行実験に先立って実験室内で予備実験を実施し、式(1)、(2)の比例係数 a、b を定めた。

3.1. 実験方法

書面による事前同意を得た 20 歳前後の健康な男女を被験者とした。外部視界を遮断した回転装置に被験者を正立座位で乗せ、正弦波状に 6 秒間で 90 度の右回転および左回転（最大角速度 30[deg/s]）を交互に繰り返して、車が交差点を 90 度右左折する状況を模擬した。回転装置の角速度を測定し、対策案 1 あるいは対策案 2 を施した映像を描画した。式(1)、(2)の比例係数 a、b の値は可変とし、被験者が調整するポテンシオメーターからの入力に試行毎に定めた乱数を加えた値とした。被験者の 50[cm]前方に設置した 11[inch]ディスプレイに映像を表示して、被験者に注視させた。なお中央部の主映像には静止画を用いた。平衡感覚で知覚される回転感覚と、視覚によって誘導される運動感覚が一致するように、映像の動きを被験者にポテンシオメーターで調整させた。調整は逆進行を許し、被験者が十分な一致を感じるまで続けさせた。調整終了後にポテンシオメーター入力（乱数を含む）による比例係数 a あるいは b の値を記録した。試行数は両対策案について各 40 回であった。

3.2. 結果

図 4 に対策案 1 の比例係数 a の分布を、図 5 に対策案 2 の比例係数 b の分布をヒストグラムで示す。a は 0.43 ± 0.21 （平均±標準偏差）、b は 0.96 ± 0.46 であり、個人差の大きな分布であった。

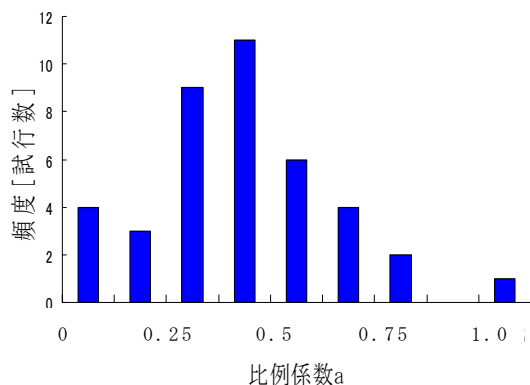


図 4. 対策案 1 の比例係数 a の分布

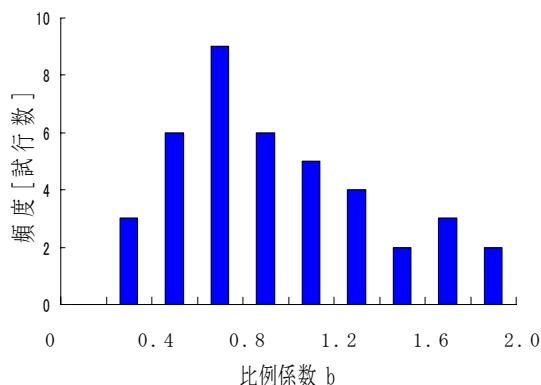


図 5. 対策案 2 の比例係数 b の分布

4. 実車走行実験

対策案 1、2、3 の車酔い低減効果を検証するため、実車走行実験を行った。なお、TV を視聴させない普通乗車、および対策を施さない TV 視聴の乗車を対照とした。

4.1. 実験方法

被験者は、20 歳前後の健康男女 56 名（男性 41 名、女性 15 名）であった。実車走行実験は被験者への十分な説明と、書面による被験者の事前同意を得て行った。4 列シート 10 人乗りのバンタイプの車を使用し、2~4 列目シートに被験者を座らせて走行した。前席のヘッドレストの位置に 11[inch](横 24.4[cm]、縦 13.8[cm]、水平解像度 800[dot]、垂直解像度 480[dot])のディスプレイを天井から吊り下げた。TV 映像は、横 20.5[cm]、縦 11.5[cm]に 2 割程度縮小して表示した。被験者からディスプレイまでの平均距離は約 60[cm]で、水平視角は約 21[deg]であった。

乗車条件は、

- 1) 普通乗車(TV 視聴無し)
- 2) TV 視聴
- 3) 対策案 1(縦縞)を施した TV 視聴
- 4) 対策案 2(台形)を施した TV 視聴
- 5) 対策案 3(縦縞+台形)を施した TV 視聴

の 5 通りとした。TV 視聴には、DVD による映画の再生とし、激しい動きがなくストーリー性の高い字幕なしの映画を使用した。

走行経路は、カーブの多い郊外路で、信号機は無く 1 周約 2.1[km]であった。走行時間は 7 周で 21 分間とした。運転にばらつきが出ないように運転手 1 人を雇用し、走行中は制限速度 (50km/h) を守り、急な加減速は行わず、できるだけ車線に沿って等速で走るように運転させた。車の運動を 50[Hz]で計測した結果、Yaw 回転の角速度は最大 35[deg/s]であった。

計測項目は動揺病不快感で、1 分間毎に 0（不快感なし）～10（不快感・吐き気が強くこれ以上乗車できない状態）までの 11 段階の評定尺度法によ

る主観的評価を口頭で回答させた。被験者には、0～10の評定値で不快感強度をできるだけ等間隔に表現するよう指示した。なお、実験終了予定の21分に達する前であっても、不快感が強いために継続が出来ない旨を被験者が申告した時点で実験を中断した。中断後の動揺病不快感は最大評定値の10として解析した。各種条件における試行数を表1に示す。

表1 乗車条件毎の試行数

乗車条件	試行数
普通乗車	57
TV視聴	59
対策案1(縦縞)	25
対策案2(台形)	69
対策案3(縦縞+台形)	23
合計	233

4.2. 実験結果

TV視聴条件の不快感の時間推移を図6に示す。走行時間とともに、不快感0の被験者が減少し、不快感が徐々に強くなった。少数の被験者は不快感の最大評定値10に至った。他の乗車条件においても、不快感の強さに差が見られるものの、同様の時間推移が見られた。

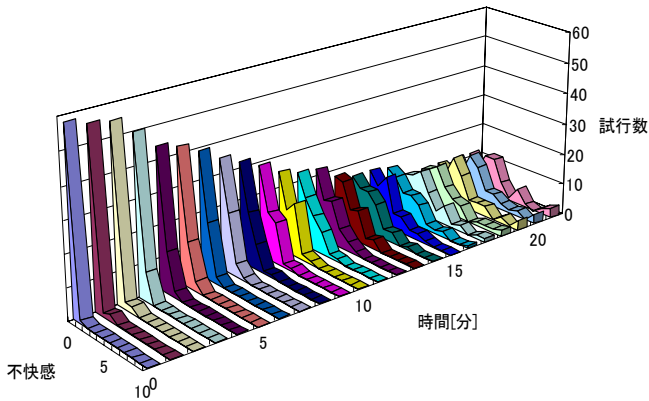


図6. 不快感の時間推移と試行数分布 (TV視聴)

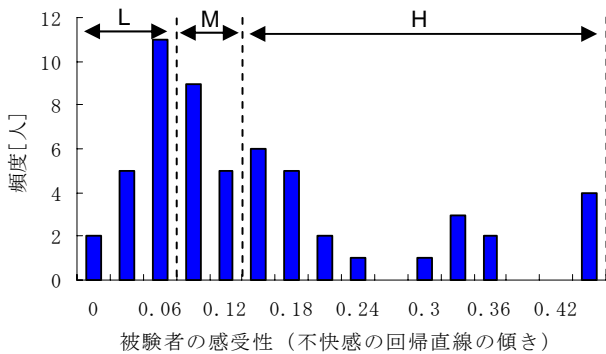


図7. 被験者の車酔い感受性の分布

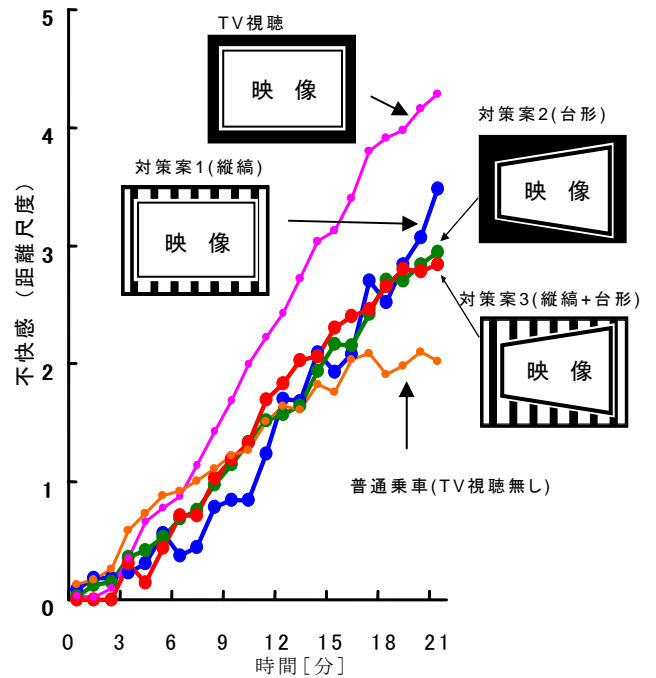


図8. 動揺病不快感の平均強度の時間推移

乗車条件間で車酔いの不快感強度を比較するためには、各条件間で被験者の車酔い感受性に偏りが無いように補正する必要がある。まず各被験者の一試行毎に、横軸に走行時間、縦軸に不快感評定値を取って最小二乗法による回帰直線の傾きを算出し、その平均値を求めて被験者の車酔い感受性とした。図7に被験者の車酔い感受性の分布をヒストグラムで示す。5条件の全試行について被験者の感受性の分布を求め、試行数がほぼ3等分になるように被験者を感受性によってL(Low)、M(Middle)、H(High)に分割した。図7に感受性の分割境界を示す。全ての乗車条件でL:M:Hの被験者の試行数比が等しくなるように、各乗車条件・各時刻の評定値の分布に重み付けを行うことで、車酔い感受性の偏りの補正を行った。次に範疇判断の法則[6]に基づき、補正された評定値の分布を用いて不快感を等間隔な尺度である距離尺度に変換した。

各乗車条件で発生した動揺病不快感の平均強度の時間推移を図8に示す。それぞれの条件でほぼ直線的に動揺病不快感が増強した。対策案1、2、3共に、TV視聴条件に比べて不快感が顕著に減少した。t検定の結果、TV視聴条件に比べて、3つの対策案ではいずれも有意に不快感が低減していることが認められた ($p < 0.05$)。

各乗車条件での動揺病不快感の平均強度の時間推移を、原点を通る直線に回帰し、その傾きを表2に示す。TV視聴条件での回帰直線の傾きが普通乗車での傾きにまで低減されたときを100%の改善率と定義すると、3対策案とも70%以上の改善率であった(表2)。

表 2. 回帰直線の傾きと改善率

乗車条件	傾き	改善率[%]
普通乗車	0.118	—
TV 視聴	0.207	—
対策案 1(縦縞)	0.139	75.9
対策案 2(台形)	0.138	76.8
対策案 3(縦縞+台形)	0.143	71.9

5. 考察

乗車中に TV 視聴を行うと、視覚からは TV に映された映像世界での動きが知覚されるため、平衡感覚によって知覚される運動感覚情報との矛盾が増大し車酔いが増強する[2][3]。本研究で考案した対策案により、視覚から平衡感覚との感覚矛盾が小さい自己運動感覚を与えることによって、顕著な車酔い低減効果を得ることが示された。さて Brandt et al.[7]は、水平視角 30 度程度では視覚誘導自己運動感覚はほとんど発生しないと報告している。一方 Post[8]は、水平視角 75 度までの範囲ではどこに視運動刺激が呈示されても、視運動刺激の面積が同じ（水平視角・垂直視角共に 30 度の円）なら同程度の視覚誘導自己運動感覚が発生することを示した。本研究では水平視角が 21 度であったが、顕著な車酔い低減効果が得られており、平衡感覚との感覚矛盾が小さい自己運動感覚を与えられたものと考えられる。通常、視覚誘導自己運動感覚は、身体の静止時に視運動刺激によって誘導される自己運動感覚として測定される。これに対して本研究では、走行する車に乗車し平衡感覚から自己運動が知覚されている状態で、視運動刺激によって平衡感覚と一致するように自己運動感覚を発生させた。すなわち、平衡感覚と視覚に感覚矛盾のある状態ではなく、両感覚から一致した自己運動感覚が得られる状態での視覚誘導自己運動感覚であったと考えられる。感覚矛盾を減少させる視覚誘導自己運動感覚の発生には、錯覚を発生させるのに比べて視運動刺激の面積が小さくて良い可能性が示唆される。

対策案 3 は対策案 1 と対策案 2 を併用しており、対策案 1 と対策案 2 の相乗効果により改善率が上がると予想されたが、有意差のない結果であった。対策案 1、2、3 共に Yaw 回転に対する情報のみを映像で与えているため、ほぼ同程度の改善率が得られたものと思われる。本研究では対策案 3 の映像の動きに用いる 2 つの比例係数を、対策案 1 および対策案 2 の比例係数と等しく定めたが、両者の相互作用を考慮した比例係数を求めて用いれば、車酔い低減対策の改善効果が更に上がった可能性もある。

図 4、5 に示すように、平衡感覚と一致する自己運動感覚を誘導する視運動刺激の動きには個人差が大きい。本研究では、予備実験の結果を基に全被験者で一定の比例係数を用いて各対策案の車酔

い低減効果を調べた。被験者毎に比例係数を最適化した上で対策案を適用すれば、車酔い低減効果が更に改善される可能性がある。なお、対策案 1、3 においては縦縞の動きの速度を変更すると改善効果が著しく劣化した(未発表)。この結果は、車酔い低減効果が映像の動きの速さ・大きさに強く依存しており、各対策案における比例係数の最適化が非常に重要であることを示している。

6. まとめ

乗車中に TV 視聴する際の車酔いを低減するために、車の Yaw 回転に対する対策を考案し、実車走行実験でその有効性を検証した。TV 視聴と同時に視覚を通して車の動きと一致する自己運動感覚を与えることにより、視覚と平衡感覚との感覚矛盾を減少し、70%以上の車酔いの改善効果を得た。

参考文献

- [1] Reason, J.T. and Brand, J.J.: Motion Sickness, Academic Press, London, 1975
- [2] 森本ほか：TV 視聴が車酔いに及ぼす影響，信学会 ソサイエティ大会 2005 講演論文集，A-17-2，2005
- [3] 森本明宏, 朴丹, 井須尚紀：乗車中の TV 注視による車酔い不快感の増加，宇宙航空環境医学，42，145，2005
- [4] Turner, M. and Griffin, M.J.: Motion sickness in public road transport: the effect of driver, route and vehicle, Ergonomics, 42(12), 1646-1664, 1999
- [5] Ohmi, M., Howard, I.P. and Landolt, J.P.: Circularvection as a function of foreground-background relationships, Perception, 16, 17-22, 1987
- [6] Torgerson, W.S.: Theory and Methods of Scaling, Jhon Wiley & Sons, New York, 1951
- [7] Brandt, T., Dichgans, J. and Koexig, E.: Differential effects of central versus peripheral vision on egocentric and exocentric motion perception, Experimental Brain Research, 16, 476-491, 1973
- [8] Post, R.B.: Circularvection is independent of stimulus eccentricity, Perception, 17, 737-744, 1988