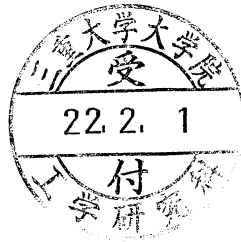


# 修士論文

## ETCO<sub>2</sub>分圧と心臓自律系活動の変化に見る 車酔低減対策ディスプレイの効果



平成21年度修了

三重大学大学院工学研究科

博士前期課程 情報工学専攻

中西窓花

## 要旨

### 1. 序論

近年、ディスプレイ装置を搭載した自動車が増加している。画面注視に伴い懸念される車酔いの発症増加に対処するため、車酔い低減ディスプレイの開発を目指している。一方、車酔いに関する定量的評価指標が未だ確立されていないので、車酔い発症時の心臓自律系活動と呼気終末二酸化炭素分圧の変化を計測し、車酔い不快感との相関を解析した。

### 2. 車酔い低減ディスプレイ

車内でTV視聴を行うと運動情報が視覚からは得られないため、TV視聴を行わない場合と比べて車酔い不快感が約2倍に強まる。そこで、自動車の運動情報を視覚から与えるように視運動刺激をTV映像に付加し、車酔いを低減しようと考えた。

対策を施した11種類の映像の視聴、対策を施していない映像の視聴、視聴なしの計13種類で約20分間の実車実験を行い、車酔い不快感を測定した。走行前10分と5分、走行開始から1分毎に不快感の強度を0（平常）～10（嘔吐寸前）の11段階で被験者に答えさせた。評定尺度法による主観的評価の結果を範疇判断の法則に基づいて距離尺度化した。

全ての対策において対策なしよりも不快感を低減できた。最大74%の車酔い改善効果が得られた。

### 3. 呼気終末二酸化炭素分圧

上記実験中に、カプノメーターを用いて呼気二酸化炭素分圧を計測した。一呼吸毎の呼気二酸化炭素分圧の最大値を呼気終末二酸化炭素分圧とし、これを1分おきに前後30秒で平均した。車酔い発症者は走行開始とともに呼気終末二酸化炭素分圧が低下する傾向が見られた。不快感の大きさによりグループ分けして平均値を求めたところ、不快感が大きいグループほど、呼気終末二酸化炭素分圧が低下する傾向が顕著であった。

### 4. 心臓自律系活動

上記実験中に被験者の心電図波形をパソコンに入力し、心電図R波のピークを検出して心拍間隔を求めた。心拍間隔の時間推移を0.5秒間隔の時系列となるようにリサンプルした後、0.5秒ずつシフトさせながら60秒間のデータを使用してMEMでパワースペクトルを求めた。その高周波成分HFと低周波成分LFのパワーの時間変動を求め、走行開始前10分間の平均値で全体を割り正規化した。LF/HFを交感神経指標、HFを副交感神経指標とし、緩徐な変動成分を取り出した。車酔いを発症すると、減退と亢進を繰り返しながらも、交感神経活動は活発になり副交感神経活動は低下する傾向が見られた。

### 5. まとめ

実験結果から、本研究の映像提示手法は車酔い低減に有効であることが分かった。また、呼気終末二酸化炭素分圧や心臓自律系活動の変化と車酔いの間には相関が見られたので、更なる解析を行えば車酔いの指標として利用できると考えられる。



## 目次

1	序論 .....	3
2	車酔い対策を施した車載ディスプレイ .....	5
2.1	車酔い対策の基本的な考え方 .....	5
2.1.1	対策映像 .....	5
2.1.2	実験方法 .....	5
2.1.3	解析方法 .....	8
2.2	加減速対策実験 .....	12
2.2.1	対策映像 .....	12
2.2.2	実験方法 .....	14
2.2.3	結果 .....	14
2.3	カーブ対策実験 .....	16
2.3.1	対策映像 .....	16
2.3.2	実験方法 .....	17
2.3.3	結果 .....	18
2.4	複合対策実験 1 .....	20
2.4.1	対策映像 .....	20
2.4.2	実験方法 .....	20
2.4.3	結果 .....	21
2.5	複合対策実験 2 .....	23
2.5.1	対策映像 .....	23
2.5.2	実験方法 .....	24
2.5.3	結果 .....	25
2.6	考察 .....	27
3	呼気終末二酸化炭素濃度 .....	29
3.1	測定方法 .....	29
3.2	結果 .....	30
3.3	考察 .....	32
4	心臓自律系活動 .....	33
4.1	測定方法 .....	33
4.2	結果 .....	35
4.3	考察 .....	36
5	謝辞 .....	37
6	参考文献 .....	38

# 1 序論

近年、カーナビゲーションシステム、リアエンターテインメントシステムなど、ディスプレイ装置を搭載した自動車が増加している。そのため、車内で地図を検索したり、TVや映画を視聴したりすることが可能となり、車内での映像視聴回数も増加している。車載TVは私達に便利さや楽しさを与えたが、その一方で、走行中に映像を見ることで車酔いを発症しやすくなることが懸念されている。走行中に映画を視聴した場合、普通に乗車した場合と比べて車酔いの強度は約2倍に増大することが分かっている<sup>[1][2]</sup>。

車酔いの発生原因については諸説あるが、現在最も有力な説として感覚矛盾説<sup>[3]</sup>があげられる。これは、目から得られる視覚情報と半規管や耳石器から得られる平衡感覚情報との間に生じる矛盾が原因で車酔いを発症すると考える説である。自動車の走行中にTVを見ると、視覚からは「自分が静止している」、平衡感覚からは「自分が動いている」という相異なる自己運動感覚が生じる。この矛盾が車酔い発症の主な原因となっている。

Griffin&Newman<sup>[4]</sup>は車の前方にカメラを取り付け、その映像を車載ディスプレイに表示した状態で車を走行させ、車内の被験者にその映像を視聴させるという実験を行った。運動情報を与えることで感覚矛盾が減少し、車酔いが低減すると考えられたが、車酔いは逆に悪化した。その原因はカメラやディスプレイが振動したことにより、適切な平衡感覚情報が得られなかった為であると考察している。

また、森本ら<sup>[5~8]</sup>辻ら<sup>[9][10]</sup>は、TV映像の表示部を縮小し、その周囲に車の運動に応じた動きをする映像を表示することで視覚誘導自己運動感覚を発生させて、車酔いを低減させる手法を考案している。これは、実車実験により車酔い低減効果があることが分かっている。但し、縮小したTV映像が、その周囲の映像よりも遠くに見えるようになってしまったため、十分には視覚誘導自己運動感覚を発生させられなかったと考察している。

そこで、本研究ではこれらの点に考慮した上で、より車酔い低減効果の高い手法を開発することを目指した。

一方、これまで車酔い低減技術の評価法には被験者の不快感を点数化した評価尺度が用いられてきたが、これは主観的な評価指標であり、客観的な評価指標は未だ確立されていない。しかし、車酔いの症状には主観的な不快感の他、呼気終末二酸化炭素分圧や心臓自律系活動などの客観的測定が可能な生体信号の変化も生じる。但し、不快感も生体信号も共に車酔いの症状であるが前者と後者の関係については正確には分かっていない。

呼気終末二酸化炭素分圧は、先行研究により不快感増大に伴い減少することが報告されている。しかし、日高<sup>[11]</sup>の研究では、被験者が車酔いを発症している可能性の低い停車中にも呼気終末二酸化炭素分圧が減少する傾向が見られた。

心臓自律系活動に関する小山ら<sup>[12]</sup>の研究では、不快感の程度による差は見られなかった。しかし、車酔いは一種の自律神経失調状態であり、車酔い発症者と非発症者の心臓自律系活動の変化には差が見られる可能性が高いと考えられる。

以上のことから，本研究では不快感と生体信号の相関を再度調べ，車酔いの定量的，客観的な評価指標として使用することの有効性を検討した．



## 2 車酔い対策を施した車載ディスプレイ

2章では車酔い対策を施した車載ディスプレイについて説明する。まず、2.1章で車酔い対策の基本的な考え方、及び2.2章以降の共通項目について説明する。2.2章では加減速時に生じる車酔いに対する対策、2.3章ではカーブ時に生じる車酔いに対する対策、2.4、2.5章では加減速時とカーブ時の複合対策をそれぞれ説明する。

### 2.1 車酔い対策の基本的な考え方

#### 2.1.1 対策映像

現在、車酔いの原因を説明する有力な仮説として感覚矛盾説がある。これは、視覚と平衡感覚からの情報の矛盾によって車酔いが起こるとする説である。

ディスプレイを注視していると、走行中の車内では視覚を通しては車の動きが知覚できない。しかし、平衡器官は車の加減速やカーブ等の刺激を受ける。そのため視覚と平衡感覚からの情報の間に矛盾が生じ、車酔いが起こる。

そこで、視覚を通して車の動きの情報を与えることにより、感覚情報の矛盾を減少させ、車酔いを解消しようと考えた。映像表示部全体の80%にTV映像を表示し、残りの周囲20%に背景となる映像を表示した(図2-1)。視覚から運動情報を与えるため、背景映像は車の動きと一致した自己運動感覚を与えるような映像とした。

車酔い対策表示部(背景)

TV映像と対策映像の間の枠

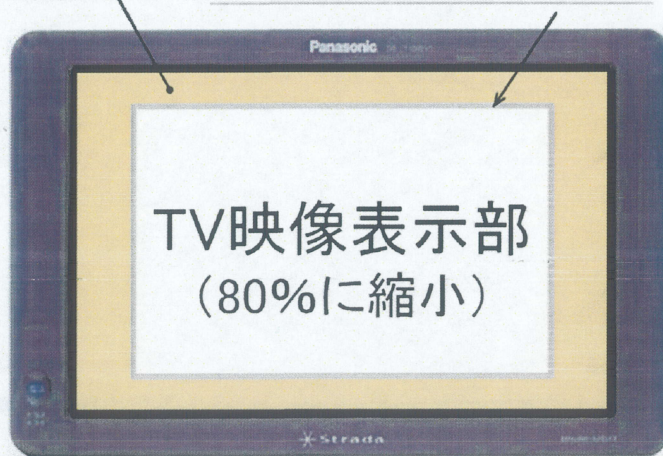


図 2-1 : TV映像と背景映像の説明図

#### 2.1.2 実験方法

##### ◆実験装置

2.2～2.4章の実験ではトヨタ自動車のハイエースグランドキャビン(実験車1)、2.5章の実験ではトヨタ自動車のアルファード(実験車2)を使用して実車実験を行った。各車の外観及び内観を図2-2に示す。



実験車 1 は 4 列シートの 10 人乗りの車（全長 5,380[mm], 幅 1,880[mm], 高さ 2,285[mm]）で, 1 回の実験で最大 5 名の被験者を 2~4 列目シートに座らせた. 実験車 2 は 3 列シートの 7 人乗りの車（全長 4,800[mm], 幅 1,805[mm], 高さ 1,935[mm]）で, 最大 4 名の被験者を 2~3 列目に座らせた.

車載 TV の表示部分の大きさは横 24.3[cm], 縦 13.7[cm] で, ディスプレイの解像度は  $800 \times 480$ [dot] であった. これを, 被験者からの距離が約 60[cm], 水平視角が約  $23^\circ$  の位置に設置し, 走行中, 及び停車中に被験者に視聴させた. 視聴映像には, ストーリー性が高く, それに没中できるような映画を選んだ. 音声は実験車 1 では車両の後方上部, 実験車 2 では後方下部に取り付けられた 2 台のステレオスピーカーから再生した. また 3 軸の加速度と 3 軸の角速度を出力するセンサを実験車の後部座席下に設置した.



(a) 実験車 1 (ハイエース) の外観



(b) 実験車 1 (ハイエース) の内観



(c) 実験車 2 (アルファード) の外観



(d) 実験車 2 (アルファード) の内観

図 2-2 : 実験車の外観と内観

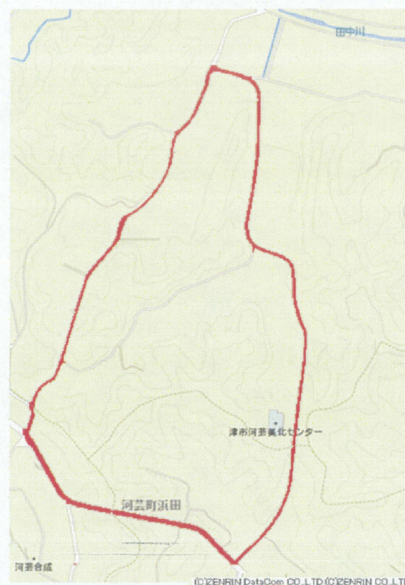


## ◆実験コース

本研究では、直線が長く続く道（実験コース 1）とカーブの多い山道（実験コース 2）の 2 種類のコースを使用した。実験コースの地図を図 2-3 に示す。実験コース 1 は 1 周約 4 分のコースで、1 回の実験で 5 周（約 20 分間）走行した。実験コース 2 は 1 周約 3 分のコースで、1 回の実験で 7 周（約 21 分間）走行した。



(a) 実験コース 1



(b) 実験コース 2

図 2-3 実験コース

## ◆被験者

被験者は、これまでにめまいや難聴など耳鼻咽喉科疾患の既往のない 20 歳前後の健康な男女であった。実車走行実験では、あらかじめ被験者に対し、実験の主旨・内容、手順、評価方法の十分な説明を行い、書面による承諾を得た上で実験を行った。書面で確認したことは、実験中に車酔いが生じ不快感が伴う可能性が予見されること、被験者の希望により実験への参加を延期あるいは中断できること、実験を続行できないと感じた時はいつでも中断できること、プライバシーの保護に関することなどであった。実験中に被験者の不快感が高まり、これ以上実験が続けられない状態になった場合はすぐに停車し、実験を中断した。

なお、本実験は三重大学院工学研究科・工学部実験倫理委員会の承認を得て実施した。



## ◆計測項目

車酔い不快感の強度を、評定尺度法による主観的評価で計測した。大学を出発し、15 分程で実験場所に到着した後、車を停めたまま 10 分間映画を視聴させ、その後約 20 分間走行しながら映画を視聴させた。その際、走行前 10 分と 5 分、走行開始から 1 分毎に不快感の強度を 0（平常）～10（嘔吐寸前）の 11 段階で被験者に答えさせた。その際、0～10 の評価値が等間隔になるように指示した。

不快感の計測のほか、呼気二酸化炭素分圧や心臓自律系活動も計測した。これらについては 3, 4 章でそれぞれ述べる。

### 2.1.3 解析方法

## ◆感受性補正

不快感の感じ方には個人差がある。実験条件毎の不快感強度を比較するには、条件間で被験者の感受性の偏りをなくさなければならない為、感受性補正を行った。ここでは、その感受性を求める手順を説明する。

- ① 図 2-4 のように縦軸に車酔い不快感、横軸に時間を取り、1 試行毎に原点を通る回帰直線（赤線）を推定し、その傾きを求める。
- ② 実験条件毎に全被験者での平均傾きを求め、①を平均値で除して正規化する。
- ③ ②より各被験者の平均傾きを求める。
- ④ これが各被験者の感受性となる。この値が高いほど感受性が高いことを表す。

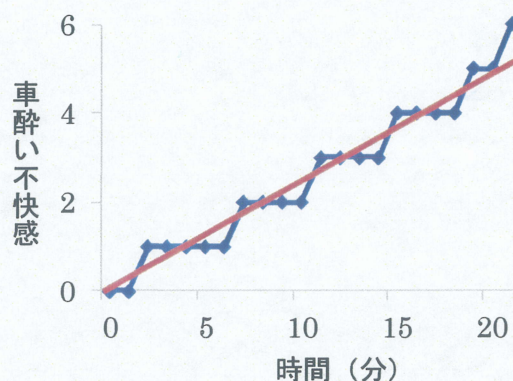


図 2-4：不快感推移の一例

まず解析に使用するか否かを決定するため、Grubbs-Smirnov 棄却検定<sup>[13]</sup>を利用するとともに、どの呈示条件に対しても全く酔わない被験者を感受性 N (No) とし、解析から除外した。次に被験者の感受性の分布から昇順にソートし、試行数がほぼ 3 等分になるように感受性によって L (Low), M (Middle), H (High) の 3 段階にクラス分けした。そして実験全体の L, M, H の比と実験条件毎の L, M, H の比が等しくなるように各実験条件・各時刻の不快感評価値の分布に重み付けを行った。この重み付けをした分布を使い、次の距離尺度化を行った。



## ◆距離尺度化

本研究では車酔い不快感の強度は 11 段階の評定尺度を用いて計測した。これは順序尺度であるため、それぞれの数字は隣接した数字から必ずしも同一の距離感覚であるとは限らない。このため、評定尺度で表現された車酔い不快感は厳密には定量的に扱うことができない。そこで、範疇判断の法則（条件 B）<sup>[14]</sup>に基づいて、測定した評定尺度を問う感覚が保証される距離尺度に変換した。これは Thurstone<sup>[15]</sup>のモデル（ケースⅢ）に相当する。

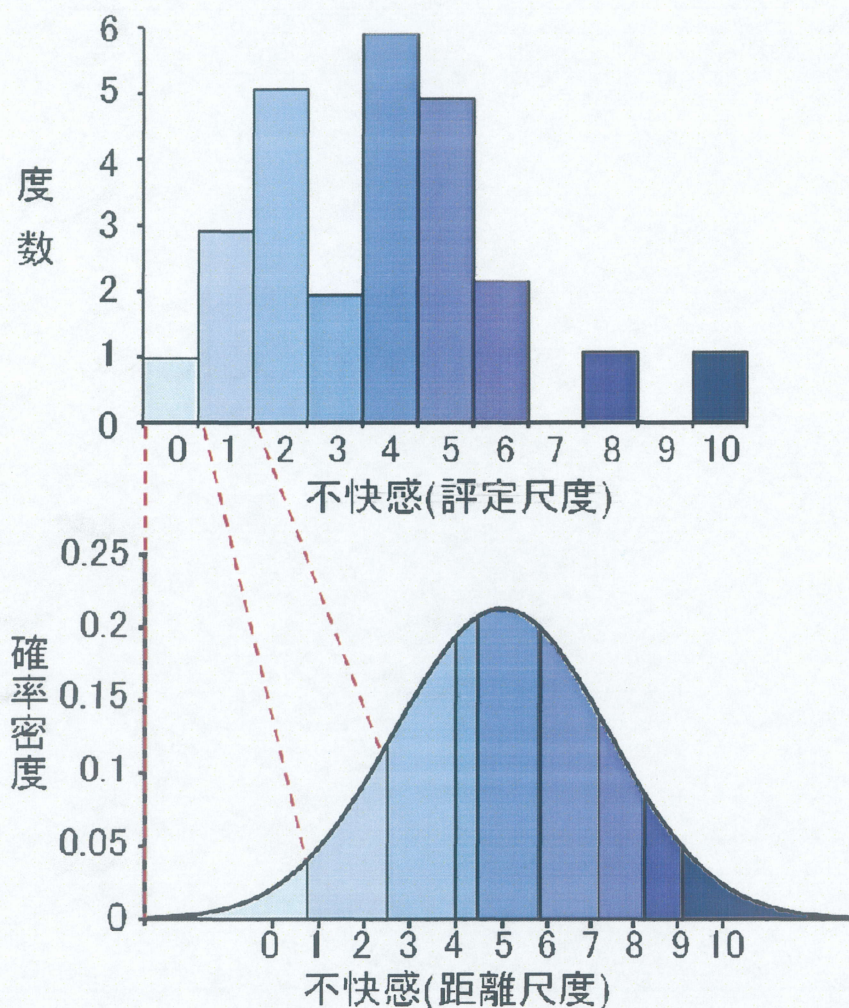


図 2-5：距離尺度化の説明（Ⅰ）

図 2-5 はある条件、ある時刻の評定尺度による不快感の分布を取り出して、距離尺度に変換する過程を表したものである。各条件の各時刻における刺激に対する反応（不快感強度）は、距離尺度で表される心理学的連続体上で正規分布すると仮定する。各カテゴリーの評定尺度の比率に等しい確率を持つように、心理学的連続体上で各カテゴリーの距離尺度を標準正規分布の  $z$  値を用いて与えた。ここで、確率の誤差に対する  $z$  値の変動が分布の平均値付近とそれから離れるところでは著しく異なってくる。そこで、Muller-Urban の荷重を



用いて実測値に対して重み付けをすることで、 $z$ に対する効き方を修正した。

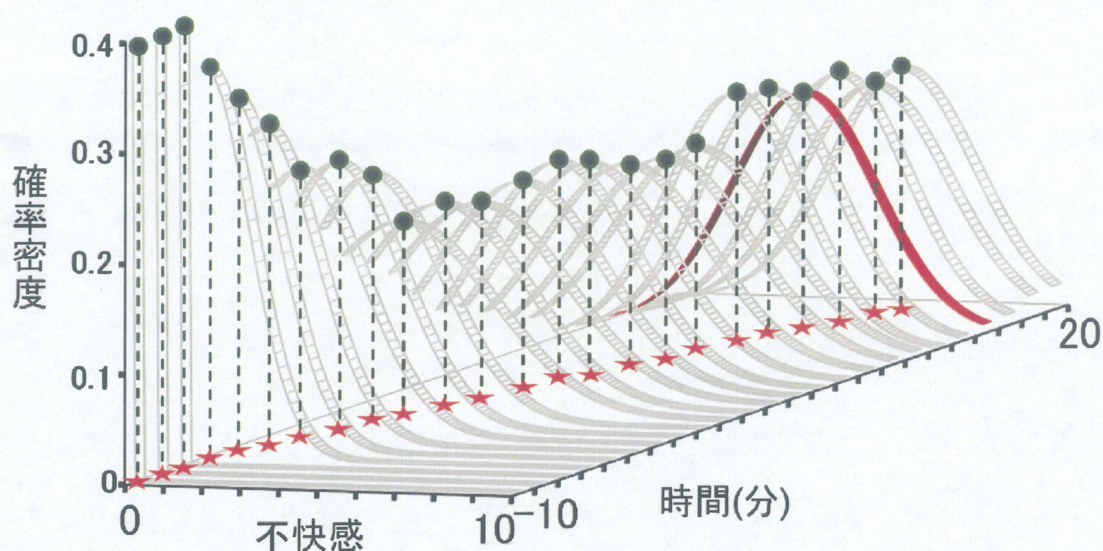


図 2-6：距離尺度化の説明（Ⅱ）

その後、正規分布の平均値をその時刻の不快感強度とし、図 2-6 に示すように各時刻について算出した。●の部分各時刻における分布の確率密度の最大値であり、★の部分各時刻の不快感強度の平均値である。

次章以降で示す実験結果のグラフは、不快感強度の平均値を実験条件別に、走行開始から 1 分毎にプロットしたものである。

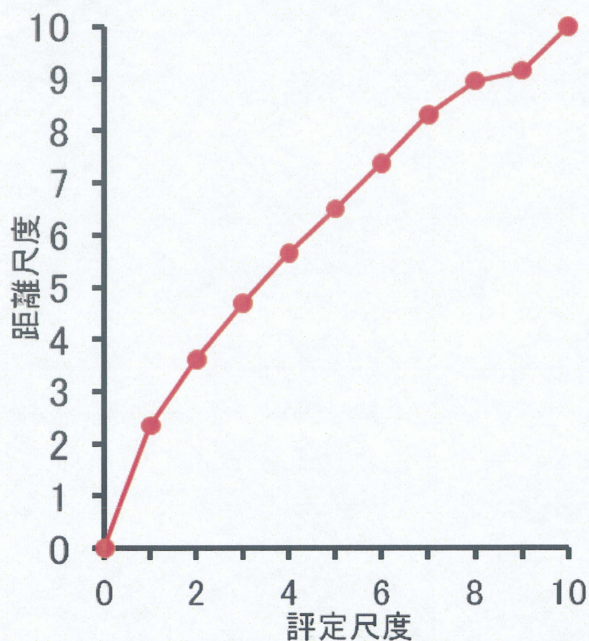


図 2-7：評価尺度 vs 距離尺度

なお、図 2-7 は評価尺度と各カテゴリーの平均値を距離尺度で表したときの対応を表したグラフである。距離尺度の 0～1 の間隔が他の区間に比べ広いのは、被験者が不快感強度「1」と答えるのにためらいがあるからと考えられる。また、「全く不快感を感じていない状態」から「少しでも不快感を感じた」と自覚するまでのしきい値が高いためと考えられる。



## ◆車酔い改善率

対策の車酔い低減効果を表すために、対策の改善率を定義した。

被験者に答えさせた車酔い不快感を感受性補正後に距離尺度化すると、いずれの条件においても、走行を開始するとともに不快感強度が時間に比例して増強した。最小二乗法を用いて直線に線形近似することで各条件の不快感強度の傾きを求めた。車酔い対策を施していない映画のみの視聴乗車（以下「対策なし」）の時の傾きが、映画視聴なしの乗車（以下「視聴なし」）の時の傾きにまで抑えられた時を改善率 100%と定義した（図 2-8）。

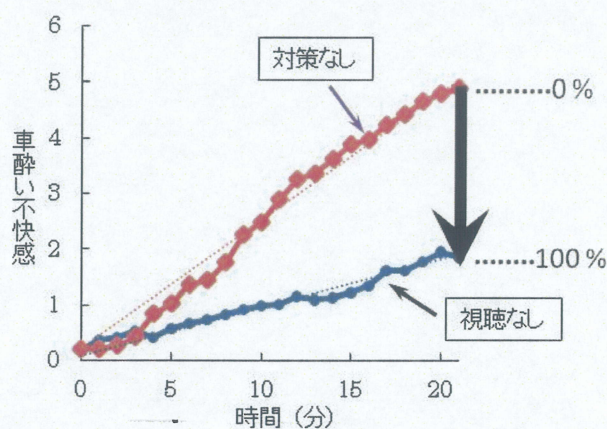


図 2-8 : 改善率の説明図



## 2.2 加減速対策実験

### 2.2.1 対策映像

加減速に伴う車酔い発症に対処した2種類 (A1, A2) の映像の視聴と、対策なし条件、視聴なし条件の計4種類の条件下で不快感強度を比較した。

対策 A1 は四角形を重ね合わせた背景映像を前後加速度に応じて前後フローさせることでリニアベクションを発生させた。加速時は背景映像を外側に向けて広がるように見せ (図 2-9a), 逆に減速時は中心に向かうように見せた。仮想空間上に枠状のテクスチャ4枚を背景映像として配置し、カメラから見える範囲 (撮像画角内) をディスプレイに表示した。青い部分がTV映像に相当し、その周囲に背景映像が表示される。垂直方向の撮像画角  $\theta_0$  は 60 度, 水平方向の撮像画角は 73.8 度であった。仮想カメラからTV映像までの距離を単位 (1 [L]) とし, 背景映像を 1.5 [L] ~ 1.875 [L] の間で前後に移動した。車の前向きの加速度を  $\alpha_x(t)$  [m/s<sup>2</sup>], 背景を前後に移動させる速度を  $v_f(t)$  [L/s] とすると,  $\alpha_x(t)$  と  $v_f(t)$  の関係式は式 (2.1) で表される。比例係数  $k_f$  は予備実験の結果, 0.10 と定めた。

$$v_f(t) = -k_f \times \alpha_x(t) \quad (k_f : \text{比例係数}) \quad (2.1)$$

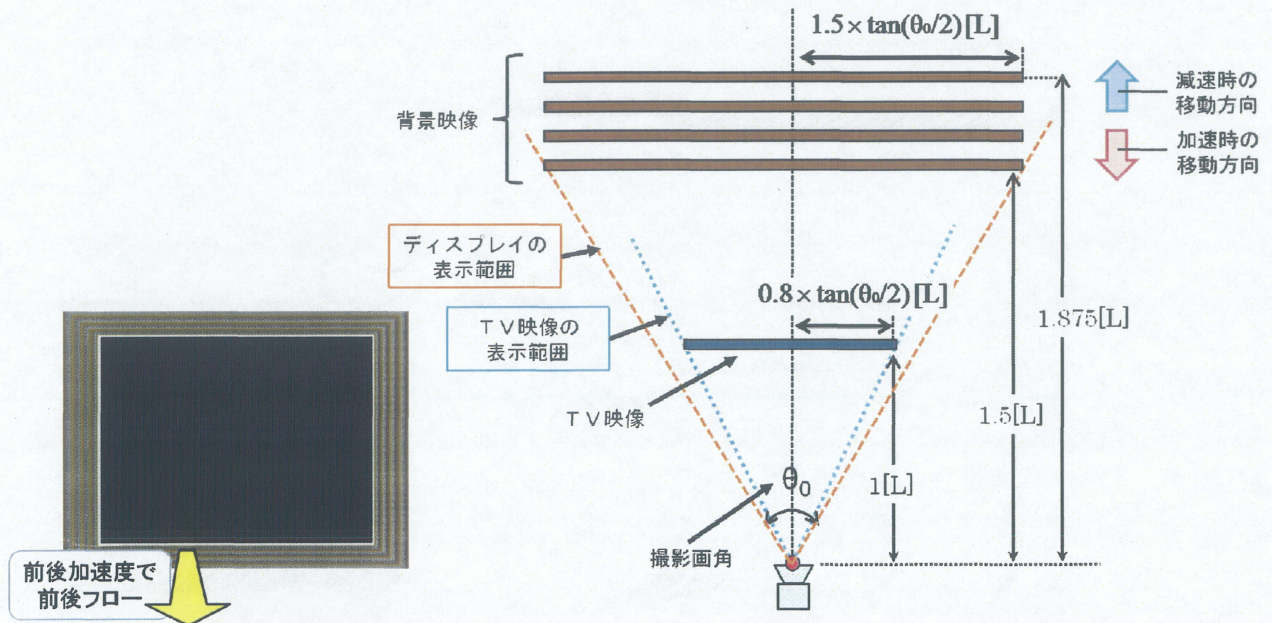


図 2-9 (a) : 対策 A1 の概要図と仮想空間図



一方、加減速が長時間続くと、自動車の加速度と重力加速度の合ベクトルの方向を重力加速度方向ととらえ、ピッチ方向に体が傾いているように感じる。そこで、対策 A2 では前後加速度に応じて背景映像を傾斜させて傾斜感覚を与えた。加速時には背景の上側を下側より遠くに見せるように傾斜させながら下方方向に移動し（図 2-10a）、反対に減速時には背景の上側を下側より手前に見せるように傾斜させながら上方方向に移動させた。仮想空間上に背景映像を配置し、カメラから見える範囲（撮像画角内）をディスプレイに表示した。青い部分がTV映像にあたり、その周囲に背景映像を表示した。垂直方向の撮像画角  $\theta_0$  は 60 度、水平方向の撮像画角は 73.8 度であった。仮想カメラからTV映像までの距離を単位（1[L]）とした。前向き加速度を  $\alpha_x(t)$  [m/s<sup>2</sup>]、重力加速度を  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とすると、背景のピッチ傾斜角  $\theta_p(t)$  [rad] と上下移動角  $\theta_s(t)$  [rad] は各々式 (2.2)、式 (2.3) で表される。比例係数  $k_p$ 、 $k_s$  は予備実験の結果、0.58、0.69 と定めた。

$$\theta_p(t) = -k_p \times \tan^{-1}(\alpha_x(t)/g) \quad (k_p : \text{比例係数}) \quad (2.2)$$

$$\theta_s(t) = -k_s \times \tan^{-1}(\alpha_x(t)/g) \quad (k_s : \text{比例係数}) \quad (2.3)$$

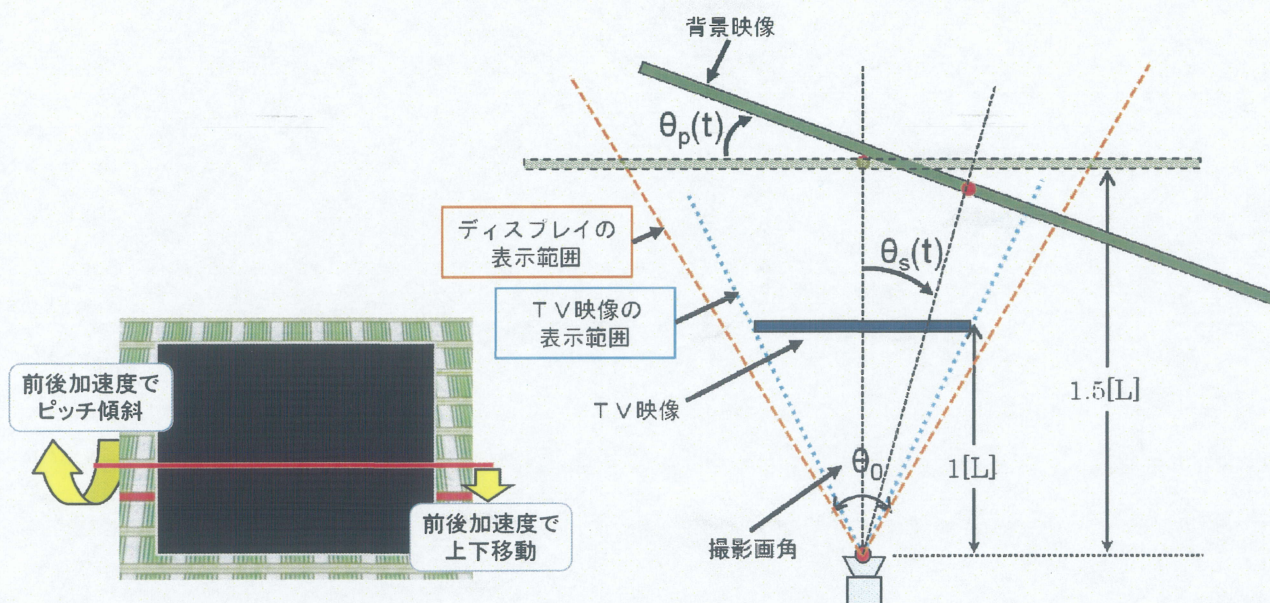


図 2-9 (b) : 対策 A2 の概要図と仮想空間図



### 2.2.2 実験方法

実験コースは先述の実験コース 1（直線の多い道路）を使用した。今回の実験の目的は加減速時に生じる車酔いの抑制効果を検証することである。そのため、本コースに 4 ヶ所存在する約 90[deg]のカーブでは, Yaw 角速度や遠心力が生じないようにゆっくりと曲がった。直線の道では 60 [km/s]まで加速し, 数秒間等速運動をした後, ほぼ停車するまで減速をし, 再び加速をする, という運転を 1 周につき 10 回, 計 50 回の加減速を行った。

被験者は 20 歳前後の健康な男性 33 名と女性 15 名の計 48 名で, 総試行数は 183 回であった。実験車には先述の実験車 1（ハイエース）を使用した。

### 2.2.3 結果

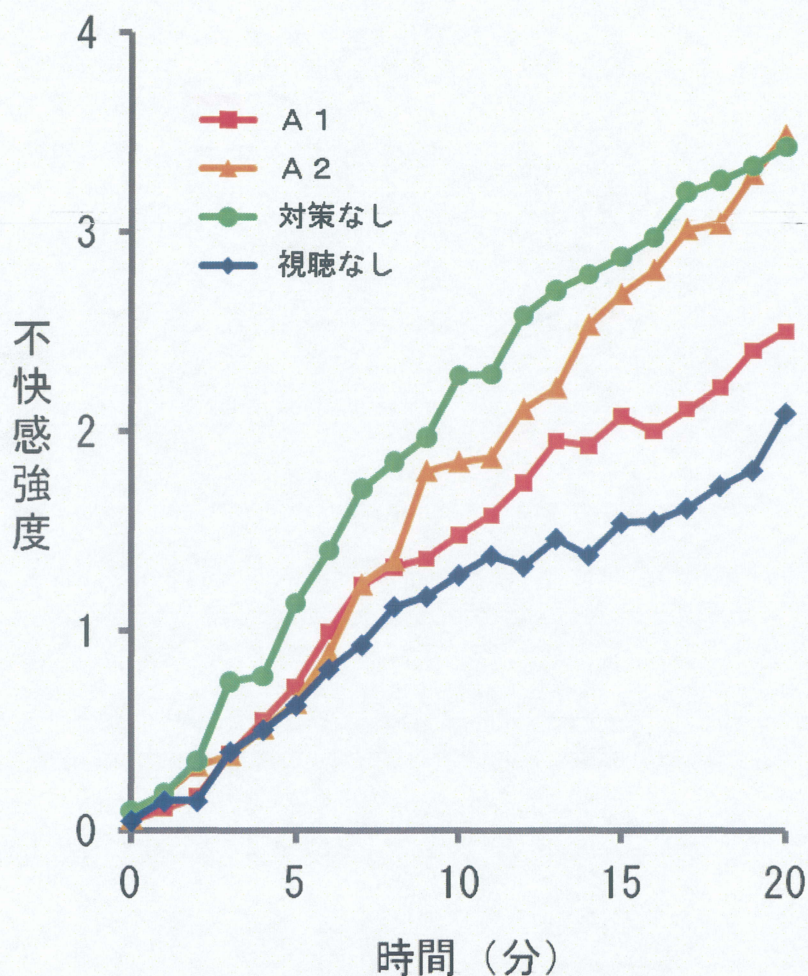


図 2-10：加減速対策実験時の不快感変化

被験者に答えさせた車酔い不快感に対して、先述の感受性補正と距離尺度化を施したものを図 2-10 に示す。横軸は、走行開始時刻を 0 分とし、走行開始 20 分後まで示したものである。縦軸は、距離尺度に変換した後の車酔い不快感強度である。

いずれの条件でも、走行を開始すると直線的に不快感が増加した。対策 A1 は、対策なしに比べ、大幅に不快感を抑制した。対策 A2 も、走行開始 20 分後の不快感強度が対策なしより僅かに大きくなったものの、それ以外の時間では対策なしより不快感強度が小さかった。改善率は、対策 A1 が 69.1%、対策 A2 が 24.4% となった。

車の特性上、加速時より減速時の方が前後加速度の変化が急激である。予備実験を行い、背景映像を動かす速さを定める比例係数を求めたが、この時、減速時に合わせる傾向があった。そのため、加速時の背景映像の動きが最適でなかった可能性がある。特に、対策 A2 では傾斜感覚で加減速を表現しており減速時の急激な動きが目につきやすかったため、加速時に期待通りの傾斜感覚が与えられなかった可能性が高い。これが対策 A1 の改善率に比べ対策 A2 の改善率が低くなった原因であると考えられる。また、背景デザインの違いも車酔い不快感に影響を与えた可能性がある。対策 A2 の背景映像は色が明るく、刺激が強すぎたため、不快感が増大したかもしれない。



## 2.3 カーブ対策実験

### 2.3.1 対策映像

カーブに伴う車酔い発症に対処した 3 種類 (B1, B2, B3) の映像の視聴と、対策なし条件、視聴なし条件の計 5 種類の条件下で不快感強度を比較した。

カーブ時には遠心力と重力の合ベクトルの方向を重力方向と捉え、体がロール方向に傾いているように感じる。そこで、対策 B1 では遠心加速度に応じて背景映像をロール方向に傾け、それと同時に、Yaw 角速度に応じて水平フローさせた。例えば、左カーブの時は、背景を右肩上がり傾けながら右方向に水平フローさせた (図 2-11a)。逆に右カーブの時は左肩上がりに傾けながら左方向に水平フローさせた。

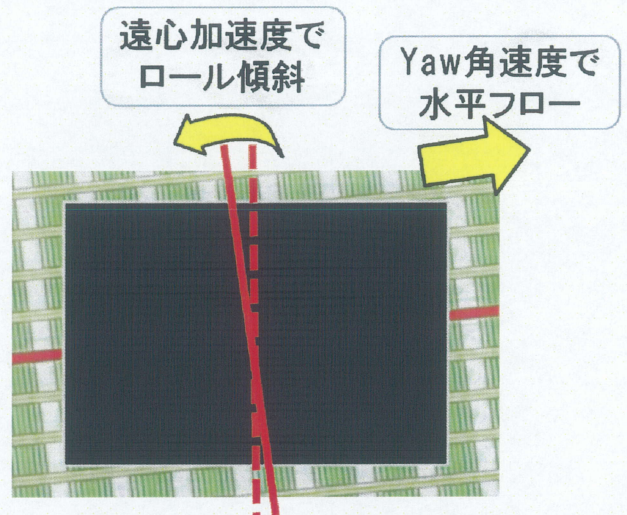
車の遠心加速度を  $\alpha_y(t)$  [ $\text{m/s}^2$ ]、Yaw 角速度を  $\omega(t)$  [ $\text{rad/s}$ ] とすると、背景映像のロール方向傾斜  $\theta_{\text{roll}}(t)$ 、水平フローの速さ  $v_{\text{yaw}}(t)$  [ $\text{L/s}$ ] は各々式 (2.4)、式 (2.5) で表わされる。予備実験の結果、比例係数  $k_{\text{roll}}$  は 0.3786、 $k_{\text{yaw}}$  は 0.05513 に決定した。

$$\theta_{\text{roll}}(t) = -k_{\text{roll}} \times \tan^{-1}(\alpha_y(t)/g) \quad (k_{\text{roll}} : \text{比例係数}) \cdots (2.4)$$

$$v_{\text{yaw}}(t) = -k_{\text{yaw}} \times \omega(t) \quad (k_{\text{yaw}} : \text{比例係数}) \cdots (2.5)$$

対策 B2 は Yaw 角速度に応じて背景映像を水平フローさせると同時に、遠心加速度に応じてスクリーンが回転して見えるようにスクリーンを台形化した。左カーブの時は、背景映像を右方向へ水平フローすると共に、スクリーンの右側を左側より拡大して手前に見せた (図 2-11b)。右カーブの時は、背景映像を左方向へ水平フローすると共に、スクリーンの右側を左側より縮小して遠くに見せた。

スクリーンの回転角  $\theta_r(t)$  [ $\text{rad/s}$ ] は式 (2.6) で求めた。背景映像の水平フローの速さ  $v_{\text{yaw}}(t)$  [ $\text{L/s}$ ] は対策 B1 の式 (2.5) と同様である。予備実



2-11(a) : 対策 B1

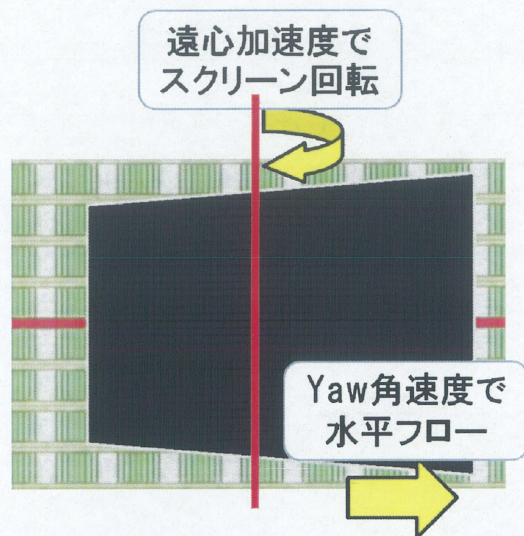


図 2-11 (b) : 対策 B2



験の結果，比例係数  $k_{cen\theta}$  は 0.684 に決定した．

$$\theta_r(t) = -k_{cen\theta} \times \tan^{-1}(\alpha_y(t)/g) \quad (k_{cen\theta} : \text{比例係数}) \quad \dots(2.6)$$

対策 B3 は遠心加速度に応じて背景映像を水平フローさせると同時に，Yaw 角速度に応じてスクリーンを回転させた（図 2-11c）．動く方向は対策 B2 と同じにした．

スクリーンの回転角度  $\theta_r(t)$  [rad/s] と，背景映像の水平フローの速さ  $v_{cen}(t)$  [L/s] はそれぞれ式 (2.7)，式 (2.8) で表される．比例係数は予備実験を行い， $k_{yaw\theta}$  は 0.4418， $k_{cen}$  は 0.0062 に決定した．

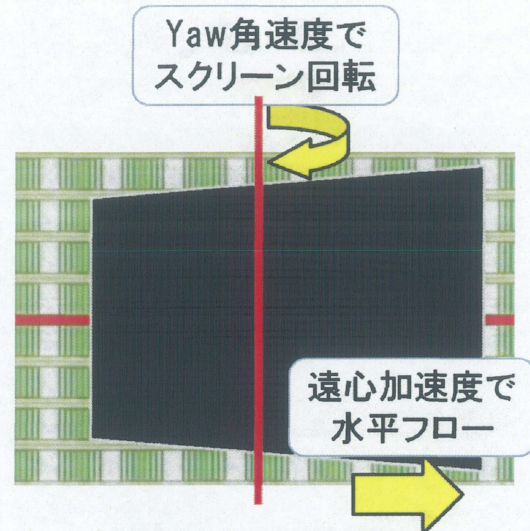


図 2-11 (c) : 対策 B3

$$\theta_r(t) = -k_{yaw\theta} \times \omega(t) \quad (k_{yaw\theta} : \text{比例係数}) \quad \dots(2.7)$$

$$v_{cen}(t) = -k_{cen} \times \alpha_y(t) \quad (k_{cen} : \text{比例係数}) \quad \dots(2.8)$$

### 2.3.2 実験方法

実験コースには先述の実験コース 2（カーブの多い山道）を使用した．今回の実験の目的はカーブ時に生じる車酔いの抑制効果を検証することである．その為，前後加速度が生じないようにできる限り等速で走行した．被験者は 20 歳前後の健康な男性 32 名と女性 10 名の計 42 名で，総試行数は 136 回であった．実験車には先述の実験車 1（ハイエース）を使用した．



### 2.3.3結果

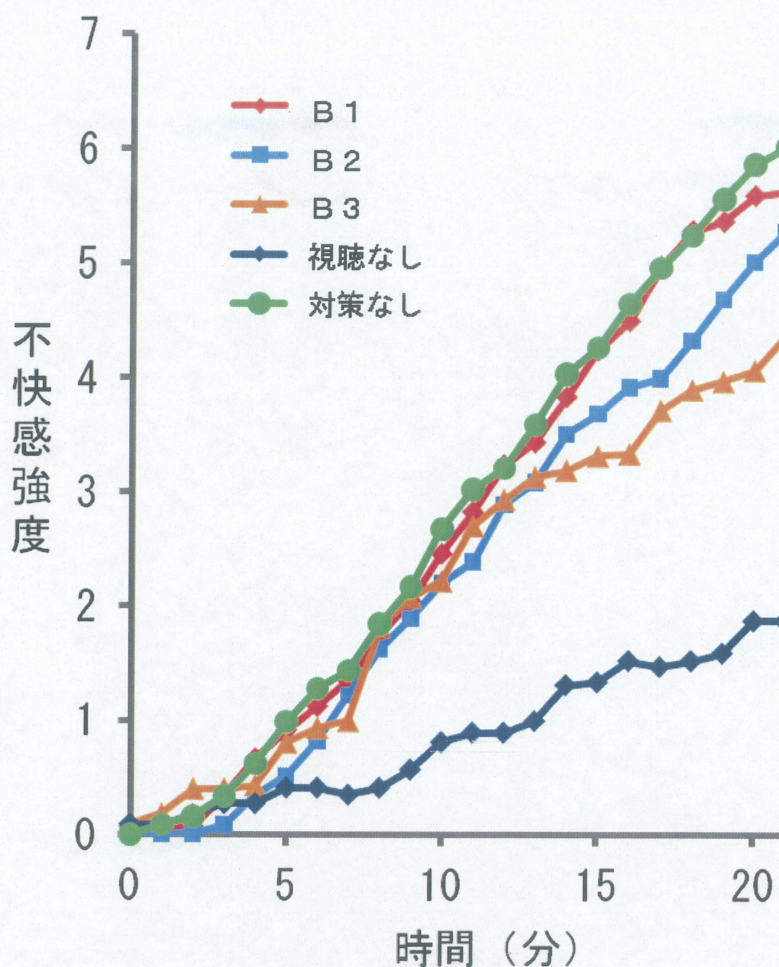


図 2-12：カーブ対策実験時の不快感変化

被験者に答えさせた車酔い不快感に対して、先述の感受性補正と距離尺度化を施したものを図 2-12 に示す。横軸は、走行開始時刻を 0 分とし、走行開始 21 分後まで示したものである。縦軸は、距離尺度に変換した後の車酔い不快感強度である。

いずれの条件でも、走行を開始すると直線的に不快感が増加した。対策 B1 の不快感強度は対策なしの場合とほぼ同様に上昇したが、対策 B2 と対策 B3 は対策なしより車酔い低減効果が見られた。改善率は対策 B1 が 4.2%、対策 B2 が 22.8%、対策 B3 が 33.0%となった。

カーブする時に遠心加速度を感じることから、映像を動かす入力の一つに遠心加速度を用いた。しかし、遠心加速度は Yaw 角速度の 2 乗に比例するため、ノイズ等にも敏感に反応し過ぎ、改善率が低くなった可能性がある。

対策 B2 と対策 B3 は動きのパラメータが異なるだけで、動き方は同じである。しかし、対策 B3 の改善率に比べ対策 B2 の改善率の方が低くなった。これは、遠心加速度を用いる



のが，対策 B3 では背景を水平フローする時であるが，対策 B2 ではスクリーンを台形化する時であり，過敏な動きがより目立ったためと考えられる．



## 2.4 複合対策実験 1

### 2.4.1 対策映像

加減速やカーブに伴う車酔い発症に対処した2種類(C1, C2)の映像の視聴と、対策なし条件、視聴なし条件の計4種類の条件下で不快感強度を比較した。

対策C1は対策案A2と対策案B1を組み合わせたもので、前後加速度に応じたピッチ方向の傾斜感覚、遠心加速度に応じたロール方向の傾斜感覚、およびYaw角速度に比例する速さの水平フローで回転感覚を誘起するように背景映像を動かした(図2-13a)。

対策C2は対策案A1と対策案B3を組み合わせたもので、前後加速度に比例する速さで前後フローする映像と、遠心加速度に比例する速さで水平フローする映像を重畳して背景映像とすると共に、TV映像を描画したスクリーンをYaw角速度に比例する角度に回転させた(図2-13b)。前後フローするのは四角形を重ね合わせた背景映像で、水平フローするのは網目模様である。

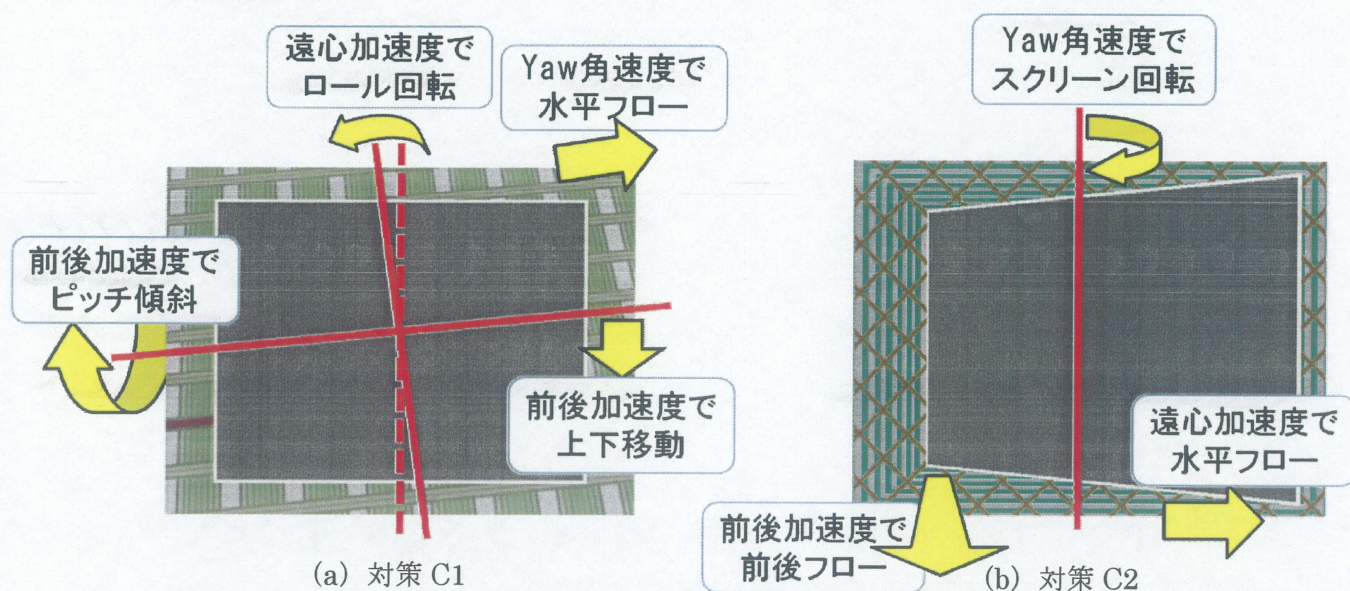


図 2-13 : 複合対策 1 (例 : 左カーブ+加速)

### 2.4.2 実験方法

実験コースには先述の実験コース2(カーブの多い山道)を使用した。今回の映像は加減速、カーブの両方に対処しているので、運転方法には等速などの制限は特に行わず、普段通りに走行させた。被験者は20歳前後の健康な男性24名と女性11名の計35名で、総試行数は84回であった。実験車には先述の実験車1(ハイエース)を使用した。



### 2.4.3 結果

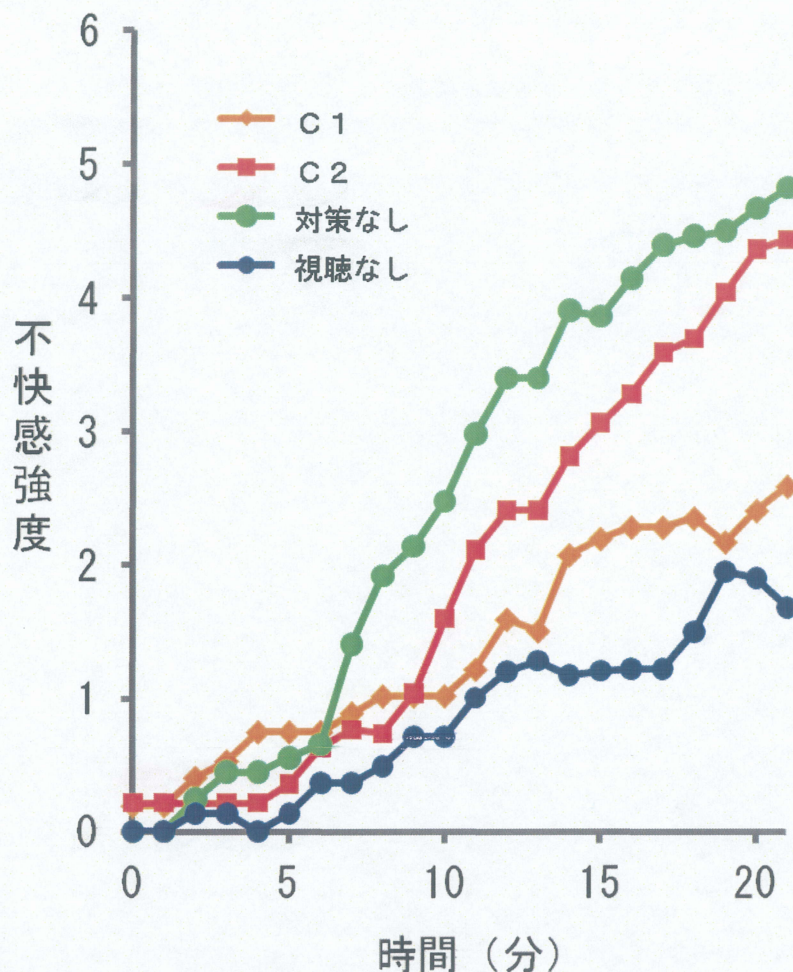


図 2-14：総合対策実験 1 での不快感変化

被験者に答えさせた車酔い不快感に対して、先述の感受性補正と距離尺度化を施したものを図 2-14 に示す。横軸は、走行開始時刻を 0 分とし、走行開始 21 分後まで示したものである。縦軸は、距離尺度に変換した後の車酔い不快感強度である。

いずれの条件でも、走行を開始すると直線的に不快感が増加した。また、両対策共に車酔い不快感の低減効果が見られた。特に対策 C1 は大幅に不快感を抑制した。改善率は対策 C1 が 73.6%，対策 C2 が 32.3% となった。

対策 C1 は、改善率 24.4% の対策 A2 と改善率 4.2% の対策 B1 を組み合わせたものであるが、個別の対策よりも大幅な改善効果が得られた。車の動きの大部分に対応したことで相乗効果が得られたと考えられる。

対策 C2 は対策 C1 に比べると低減効果が低かった。対策 C1 では 1 枚の背景映像を動かしたが、対策 C2 では前後加速度、遠心加速度、Yaw 角速度の 3 入力を用いて、それぞれ個別



の映像を動かして重畳したため、統合した運動感覚を十分に誘起できなかった可能性が考えられる。また、加減速対策実験やカーブ対策実験のときには予備実験を行い、背景映像を動かす速さを最適化したが、複合対策実験では両実験で使用した値をそのまま流用したため最適ではなかった可能性もある。



## 2.5 複合対策実験 2

### 2.5.1 対策映像

加減速に対処した映像 (D2), 遠心加速度に対処した映像 (D3), Yaw 角速度に対処した映像 (D4), これら 3 つ全てに対処した映像 (D1) の視聴と, 対策なし条件, 視聴なし条件の計 6 種類の条件下で不快感強度を比較した。

対策 D1 では対策 C1 と同様に, 前後加速度に応じたピッチ方向の傾斜感覚, 遠心加速度に応じたロール方向の傾斜感覚, および Yaw 角速度に比例する速さの水平フローで回転感覚を誘起するように背景映像を動かした (図 2-15a)。但し, より強い回転感覚を生じさせる為, D1 では背景映像に丸みを帯びさせた。その他, 背景の模様や明るさ等にも若干の変更を加え, 背景映像が目立ちすぎないようにした。また, 車の Yaw 角速度, 前後・遠心加速度の動きが微小なときは, 背景映像の動きもそれぞれ小さくなるように処理をした。

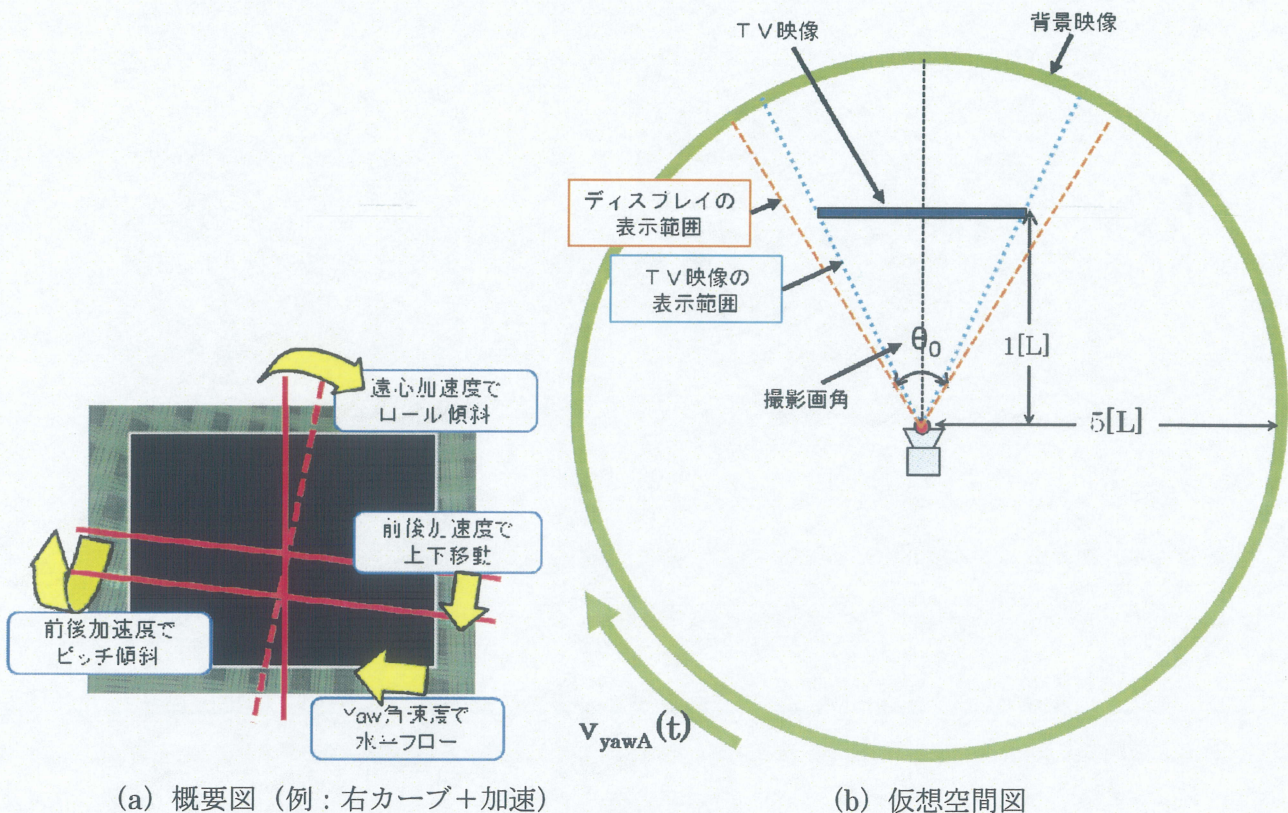


図 2-15 : 対策 D1 の説明図

図 2-15b のように仮想空間上に筒状の背景映像を配置し, カメラから見える範囲 (撮像画角内) をディスプレイに表示した。青い部分が TV 映像にあたり, その周囲に背景映像を表示した。仮想カメラから TV 映像までの距離を単位 ( $1[L]$ ) とした。前後加速度に応じて背景映像を Pitch 回転させる  $\theta_p(t)[\text{rad}]$  を式(2.9), 上下させる  $\theta_s(t)[\text{rad}]$  を式

(2.10), 遠心加速度に応じて Roll 回転させる  $\theta_{\text{roll}}(t)$  [rad] を式 (2.11), Yaw 角速度に応じて円筒を回転させる  $v_{\text{yawA}}(t)$  [rad/s] を式(2.12) に示す. 前向き加速度と重力加速度方向との合力が鉛直方向となす角度を  $\theta_{\text{gx}}$  [rad], 遠心加速度と重力加速度方向との合力が鉛直方向となす角度を  $\theta_{\text{gy}}$  [rad] とし, Yaw 角速度は  $\omega(t)$  [rad/s] とした. 比例係数は予備実験により  $k_1=100$ ,  $k_{\text{pitch}\theta A}=0.8$ ,  $k_{\text{pitch}\theta B}=0.7$ ,  $k_{\text{pitchA}}=0.5$ ,  $k_{\text{pitchB}}=0.7$ ,  $k_{\text{roll}\theta}=0.38$ ,  $k_{\text{yawA}}=0.57$ ,  $k_{\text{yawB}}=0.7$  と定めた.

$$\theta_p(t) = (1 - \exp^{-k_1 \times \theta_{\text{gx}}(t)^2}) \times k_{\text{pitch}\theta A} \times (\theta_{\text{gx}}(t))^{k_{\text{pitch}\theta B}} \quad \dots (2.9)$$

$$\theta_s(t) = (1 - \exp^{-k_1 \times \theta_{\text{gx}}(t)^2}) \times k_{\text{pitchA}} \times (\theta_{\text{gx}}(t))^{k_{\text{pitchB}}} \quad \dots (2.10)$$

$$\theta_{\text{roll}}(t) = (1 - \exp^{-k_1 \times \theta_{\text{gy}}(t)^2}) \times k_{\text{roll}\theta} \times \theta_{\text{gy}}(t) \quad \dots (2.11)$$

$$v_{\text{yawA}}(t) = (1 - \exp^{-k_1 \times (\omega(t))^2}) \times k_{\text{yawA}} \times \{\omega(t)\}^{k_{\text{yawB}}} \quad \dots (2.12)$$

対策 D2, 対策 D3, 対策 D4 は, それぞれ対策 D1 の前後加速度, 遠心加速度, Yaw 角速度の成分だけを動作させたものである.

対策 C1 は対策 A2 と対策 B1 を組み合わせたものであるが, 走行条件などが異なるため単純には比較できない. そこで, 今回の実験では対策 D1 と同じ条件で対策 D2, 対策 D3, 対策 D4 の実験を行った.

## 2.5.2 実験方法

実験コースには先述の実験コース 2 (カーブの多い山道) を使用した. いずれの実験条件においても, 運転方法には等速などの制限は特に行わず, 普段通りに走行させた. 被験者は 20 歳前後の健康な男女 52 名で, 総試行数は 188 回であった. 実験車には先述の実験車 2 (アルファード) を使用した.



### 2.5.3 結果

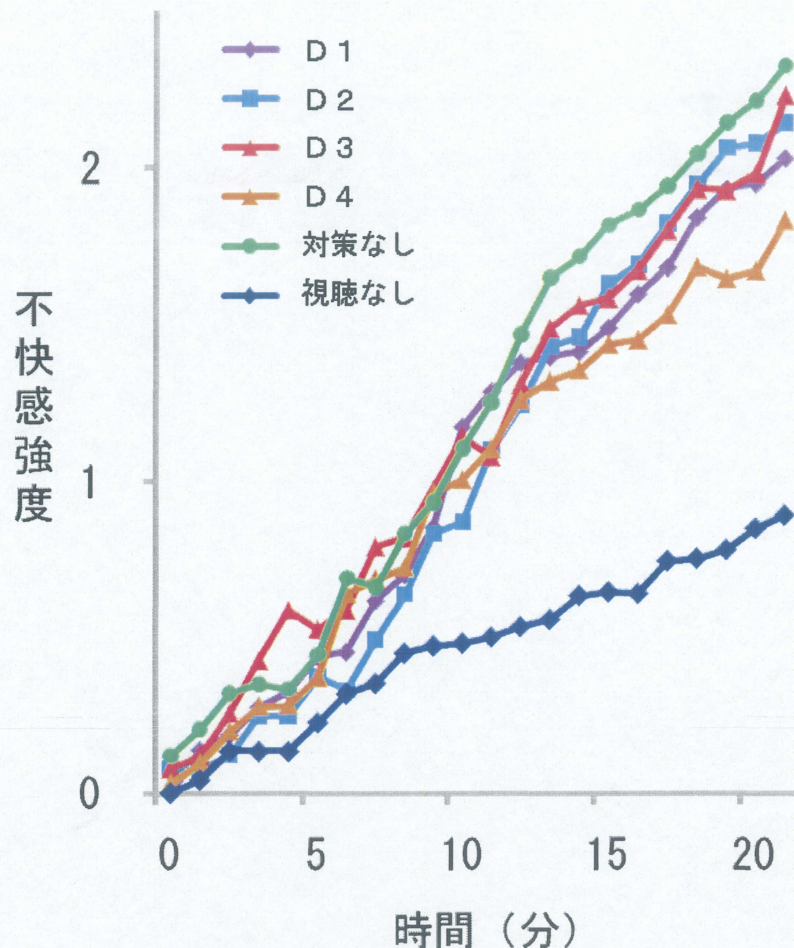


図 2-16：複合対策実験 2 での不快感変化

被験者に答えさせた車酔い不快感に対して、先述の感受性補正と距離尺度化を施したものを図 2-16 に示す。横軸は、走行開始時刻を 0 分とし、走行開始 21 分後まで示したものである。縦軸は、距離尺度に変換した後の車酔い不快感強度である。

いずれの対策においても、車酔い不快感の低減効果が見られた。改善率は対策 D1 が 18.7%，対策 D2 が 15.8%，対策 D3 が 11.5%，対策 D4 が 31.1% となり、Yaw 角速度に対処した対策 D4 で最も高い改善効果が得られた。

加減速よりもカーブの方が車酔いを発症しやすいことと、実験に使用したコースが半径の小さなカーブの多い道であったことから、今回の実験では Yaw 角速度が車酔いに与える影響が大きかったと考えられる。そして、傾斜感覚として動き情報を与えた D2 や D3 よりも、ベクションとして与えた D4 の方が、自己運動感覚を誘起しやすく、車酔い低減効果が高かったのだと考えられる。以上のことから、今回の実験では Yaw 角速度が車酔いに与え



る影響が大きく、且つ、対策 D4 での動き情報の与え方も良かった為、対策 D4 で高い車酔い低減効果が得られたのだと考えられる。

また、対策 D2 や対策 D4 では予備実験を行って背景映像を動かす速さを最適化したが、対策 D1 では各対策で使用した値をそのまま流用した。対策 D1 で期待したほどの結果が得られなかったのは、動きを組み合わせたときの相互作用を考慮していなかったことが原因だと考えられる。

## 2.6 考察

### ・ 実験全体

加減速対策実験と複合対策実験 2 では不快感が全体的に低く、対策なしと視聴なしの傾きの差も他実験に比べて小さかった。加減速対策実験の不快感が低かったのは、カーブの少ない道を実験コースに選び、更にカーブ時にはスピードを落とす等してカーブによる不快感増大を防いだからだと考えられる。一方、複合対策実験 2 の不快感が低かったのは、実験時期や実験車、運転手等が他実験とは異なることが原因である可能性が高い。

また、複合対策実験 1 は他実験より人数が少なかった為、データの誤差が大きくなっている。

### ・ 対策 A2－対策 B1 - 対策 C1

複合対策 C1 (改善率 74%) は加減速対策 A2 (改善率 24%) とカーブ対策 B1 (改善率 4%) を組み合わせたものである。対策 A2 と対策 B1 は共に改善率があまり高くなかったが、これらを組み合わせた対策 C1 は非常に高い改善率を得た。

加減速対策実験やカーブ対策実験の時に背景映像が明るすぎてチカチカしたため、複合対策実験では背景映像を暗くした。これが改善率が高くなった理由の一つかもしれない。

### ・ 対策 A1－対策 B3 - 対策 C2

複合対策 C2 (改善率 32%) は加減速対策 A1 (改善率 69%) とカーブ対策 B3 (改善率 33%) を組み合わせたものである。対策 A1 と対策 B3 は共に改善率が高めであった。しかし、これらを組み合わせた対策 C2 は期待したほどの改善率を得られなかった。

その原因としては 2.4.3 章に挙げたように、3つの入力でそれぞれ個別の映像を動かしたことや、動きのパラメータを流用したことが考えられる。また、対策 A1 で用いた茶色い四角形を重ねた背景は対策 C2 では緑色に変更し、対策 B3 で用いた竹林をイメージした緑色のストライプは対策 C2 では茶色い網目模様に変更した。このデザイン的大幅変更による影響も考えられる。

### ・ 対策 D1－対策 D2 - 対策 D3 - 対策 D4

複合対策 D1 (改善率 18.7%) は加減速対策 D2 (改善率 15.8%) と遠心加速度対策 D3 (改善率 11.5%) と Yaw 角速度対策 D4 (改善率 31.1%) を組み合わせたものである。対策 D1 は 3 つの対策全てを組み合わせるにもかかわらず、期待したほどの改善率を得られなかった。その原因としては 2.5.3 章に挙げたように、動きのパラメータを流用したことが考えられる。

#### ・加減速対策実験

先行研究の加減速対策<sup>[9][10]</sup>では 20%程度の改善率が得られている。それを改良した対策 A1 は約 70%の改善率であった。先行研究ではカーブ対策実験や複合対策実験と同じカーブの多い山道で実験を行っており、カーブでの車酔い発症が多かったと考えられる。そのため、直線の多い道で行った今年の実験とは単純に改善率を比較できない。

#### ・カーブ対策実験

Yaw 角速度のみを対策の入力に使用した先行研究<sup>[5][6]</sup>では、改善率が 70~80%であった。しかし、遠心加速度も入力に用いた今回の対策では 30%前後の改善率となった。カーブする時に遠心加速度を感じることから、今回は入力に遠心加速度を加えたのだが、これは Yaw 角速度の 2 乗に比例するため、ノイズ等にも敏感に反応し過ぎて改善率が低くなった可能性がある。

#### ・複合対策実験 1

複合対策については、先行研究の改善率が 30%弱であった<sup>[9][10]</sup>。先行研究の問題点として、映像の枠を無くしたことと、背景が映像より手前にあるように見えたこと等が考えられた。そこで本研究では、その点を考慮した対策 C2 を考案した。対策 C2 の改善率は 32%であり、先行研究より改善が見られた。

#### ・複合対策実験 2

対策 D1 は対策 C1 に変更を加えたものである。回転感覚を誘起しやすくするために、背景映像に丸みを帯びさせて円筒の中心にいる感覚を与えようとした。しかし、車酔い改善率は逆に低下してしまった。車載 TV はディスプレイが小さいため、円筒の中心にいる感覚が得られなかった可能性がある。また、丸みを帯びさせたために、傾斜感覚が得にくくなった可能性も考えられる。



### 3 呼気終末二酸化炭素濃度

私達の体は、生命を維持するため栄養素を燃焼してエネルギーを作らねばならず、その為常に呼吸を行っている。肺から体外に出す空気を呼気、体外から吸いこんだ息を吸気と呼ぶ。一回の呼吸における二酸化炭素濃度は、息を吸い込み始めると同時に急激に上昇し、呼気終末で最高値に達する。この終末呼気における二酸化炭素濃度の最大値を呼気終末二酸化炭素濃度（ $\text{ETCO}_2$  分圧）という。健常者の  $\text{ETCO}_2$  分圧は通常 35～45mmHg 程度である。

日高<sup>[11]</sup>の研究では、 $\text{ETCO}_2$  分圧は、車酔い不快感増大に伴い減少した。しかし、被験者が車酔いを発症している可能性の低い停車中にも減少した。これは密閉状態である車内の二酸化炭素濃度が上昇したことが原因であると考えられる。実験で用いた呼気センサは呼気ゼロ補正式であるため、車内の二酸化炭素濃度が上昇すると計測器の測定値が小さくなる誤差が生じる可能性がある。

本研究では、エア・コンディショナーを用いて車内の二酸化炭素濃度を一定範囲内に保ちながら、 $\text{ETCO}_2$  分圧を計測した。

#### 3.1 測定方法

2 章の実験中、 $\text{CO}_2$  センサに取り付けられたネイザルアダプタを被験者の鼻孔と口の前に装着させ（図 3-1）、メインストリーム方式で呼気二酸化炭素濃度を計測した。測定器からアナログ信号を A/D 変換器に送り、12bit の分解能で 50Hz でサンプリングしたものをパソコンに入力した。一呼吸毎の呼気二酸化炭素濃度の最大値を求め、それを  $\text{ETCO}_2$  分圧とした。20 秒の移動平均と標準偏差を求め、（移動平均＋標準偏差×0.7）と（移動平均－標準偏差×0.7）を閾値とし、それを利用して一呼吸毎の最大値を求めた。そして、現在の点から 15 点前までの最大値の平均をとり、（平均±（標準偏差×2.5））の範囲を満たさない、呼吸の乱れなどによる異常な点を除去した。その後、3 次のスプライン補完によって 1 秒間隔でリサンプリングし、 $\text{ETCO}_2$



図 3-1：ネイザルアダプタ装着

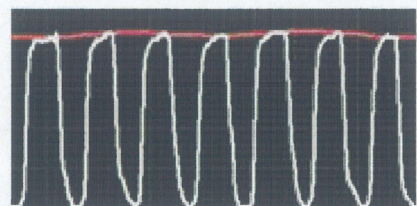


図 3-2：呼気二酸化炭素濃度（白線）  
と  $\text{ETCO}_2$  分圧（赤線）

分圧を出力した（図 3-2）。ゆっくりとした穏やかな変化を見るために、求めた  $\text{ETCO}_2$  分圧を 1 分おきに前後 30 秒間のデータを平均し、その時刻における  $\text{ETCO}_2$  分圧の値とした。

呼気二酸化炭素分圧の計測には、ハンドヘルド  $\text{SpO}_2/\text{CO}_2$  モニタ ポケットケア（日本光電工業株式会社）と呼気炭酸ガスモニタ OLG-2800（日本光電工業株式会社）を使用した。また同社製の  $\text{CO}_2$  センサ（TG-121T）とネイザルアダプタ（YG-120T）を計測器に接続して用



いた。実験中は  $\text{CO}_2$  & VOCs 室内空気監視モニター CMX-1001 (株式会社 アルデエンジニアリング) で車内の二酸化炭素濃度を測定し、エア・コンディショナーを用いて車内の二酸化炭素濃度を 700ppm 程度に保った。

### 3.2 結果

車酔い発症者の  $\text{ETCO}_2$  分圧の変化例を図 3-3 に示す。横軸は時間で 0 分が走行開始時刻である。縦軸は  $\text{ETCO}_2$  分圧の値である。図に示す通り、車酔い発症者の  $\text{ETCO}_2$  分圧は、停車中は一定であるが、走行を開始すると不快感の増大と共に低下していく傾向にあった。

そこで、求めたデータを 21 分間走行後の不快感の大きさにより、不快感 0, 不快感 1, 2, 不快感 3, 4, 不快感 5 以上の 4 グループに分け、それぞれで平均を求めた

(図 3-4)。コントロールは 31 分間の実験中ずっと停車したままの状態で測定した

ものである。コントロールの  $\text{ETCO}_2$  分圧はあまり変化が見られないが、その他のグループは走行を開始すると不快感の増大と共に  $\text{ETCO}_2$  分圧が低下していく傾向にあった。その減少は不快感が大きいグループほど顕著であった。

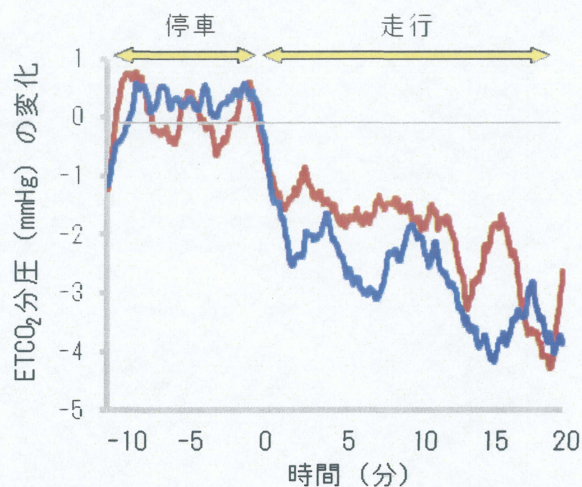


図 3-3：車酔い発症者の例 (2 試行分)

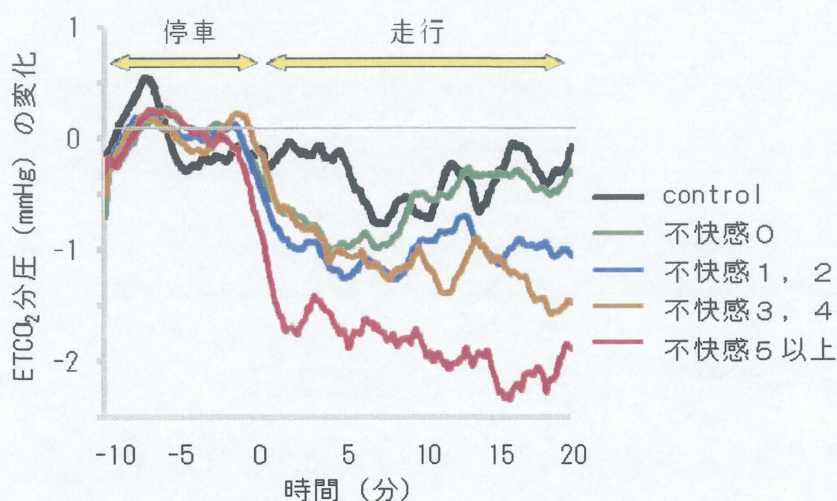


図 3-4： $\text{ETCO}_2$  分圧 (不快感強度別平均)



次に複合対策実験2のETCO<sub>2</sub>分圧を実験条件毎に平均した(図3-5)。この実験で最も車酔い不快感を低減させたのは、対策D4であった。その対策D4のETCO<sub>2</sub>分圧の値(赤線)を見ると、走行開始前と比べて走行開始直後に約1mmHg低下しているものの、それ以上の低下は見られなかった。一方、対策なし(緑線)では走行開始直後に1mmHg程度低下し、それ以降も低下していく傾向にあった。対策D4は、対策なしよりも視聴なし(青線)に近いくらいにまでETCO<sub>2</sub>分圧の低下を抑制しており、不快感と同様、ETCO<sub>2</sub>分圧の値も平常時に近い状態にできたと言える。

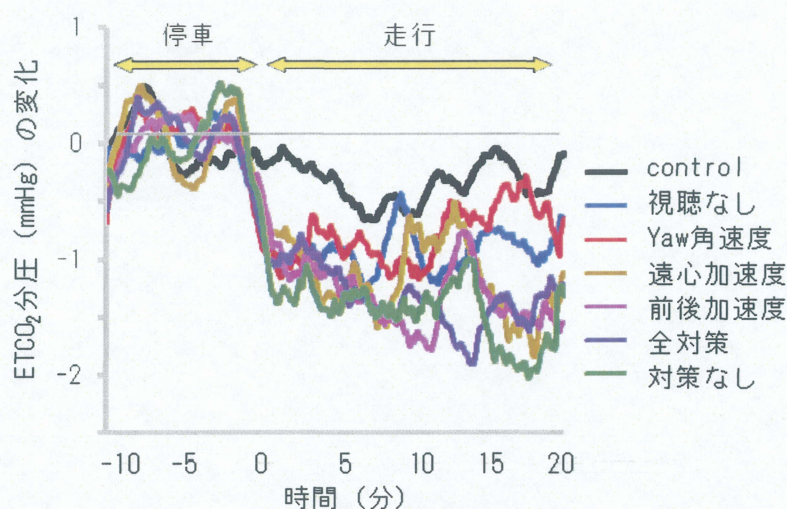


図3-5：ETCO<sub>2</sub>分圧(実験条件別平均)

### 3.3 考察

不快感の増大に伴って  $\text{ETCO}_2$  分圧が減少する傾向が見られたことから、 $\text{ETCO}_2$  分圧は車酔いの評価指標になり得ると言える。実際に、複合対策実験 2 では 3.3 章に示す通り、不快感を最も抑制した対策 D4 が、 $\text{ETCO}_2$  分圧の低下も最も抑制した。

しかし、 $\text{ETCO}_2$  分圧は不快感増大時だけではなく、走行開始直後にも低下する傾向が見られた。これは車内  $\text{CO}_2$  濃度が変動したことが原因である可能性が高い。車内  $\text{CO}_2$  濃度は、エア・コンディショナーを用いて手動で一定に保っていた。しかし、走行を開始すると車内  $\text{CO}_2$  濃度は急激に下がるため、手動では一定に保てなかった可能性がある。ただ、不快感強度が大きいグループほど、走行開始直後の  $\text{ETCO}_2$  分圧の低下も顕著であることから、低下の原因は車内  $\text{CO}_2$  濃度だけではないと言える。

また、中には不快感は上昇してないのに  $\text{ETCO}_2$  分圧が低下しているデータもあった。これは自覚症状がないだけで、車酔いは発症していると考えられる。一方、不快感は上昇しているのに  $\text{ETCO}_2$  分圧が低下していない人もいた。このことから、不快感や  $\text{ETCO}_2$  分圧の変化出現までの時間には個人差があると考えられる。

車酔い発症時に身体の内温度が低下するという報告があることから、車酔い発症時には代謝が低下し、ガスの交換量が低下していると考えられる。



## 4 心臓自律系活動

自律神経系は交感神経系と副交感神経系の二つの神経系からなり、一つの臓器に対して、一般的に拮抗的に働く。心臓では交感系、副交感系の神経線維は主に洞房結節に末端があり、交感神経の刺激により心筋細胞の興奮のペースは速くなり、副交感神経の刺激では逆に遅くなる。身体的活動中や緊張状態の時には交感神経活動が優位になり、眠っている時やリラックスしている時には副交感神経活動が優位になるとされる。交感神経活動が優位になると、心収縮力が増して心拍数も上がり、逆に副交感神経活動が優位になると心収縮力も心拍数も低くなる。

車酔いは一種の自律神経失調状態と定義されることから、車酔い発症時には自律神経活動に何らかの変化が見られると考えられる。

### 4.1 測定方法

2章の実験の際、被験者の右側鎖骨上にマイナス電極を付け、左側側腹部の皮膚にプラス電極とアース電極を付けた。走行開始 10 分前から走行開始 21 分後までの 31 分の間、生体アンプと AD 変換器を通して 1000Hz でサンプルし、パソコンに心電図波形を入力した (図 4-1)。移動平均半幅が 5 のスムージングフィルタを通した後、1 秒ずつシフトさせながら、前後 3 秒分の平均値 (赤線) を求めた (図 4-2)。また、31 分間の標準偏差も計算し、平均値に標準偏差の 1.5 倍を加えたもの (青線) と、3 倍を加えたもの (緑線) を求めた。白線が心電図波形である。緑線を越えてから青線を下回るまでの間の最大値をピークとして、次のピークまでの時間 (RR 間隔) を求めた。現在の時刻の手前 30 点の RR 間隔の平均値と標準偏差を求め、平均値から標準偏差の 2 倍以上差があるものを外れ値として取り除いた後、RR 間隔の時間推移を 0.5 秒間隔の時系列となるように補完した (図 4-3)。DC 成分を除去して Hanning Window による前処理を行った後、心拍周期変動の中に含まれる各周波数の強さを見るためにパワースペクトルを求めた。このパワースペクトルの演算は 0.5 秒ずつシフトさせながら、60 秒間分のデータを使用して最大エントロピー法 (MEM: Maximum



図 4-1 : 測定環境

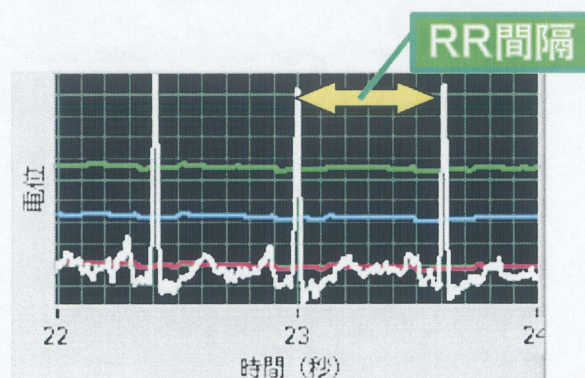


図 4-2 : 心電図



Entropy Method) で行った (図 4-4). MEM の AR 次数は 16 とした. 得られたパワースペクトルの高周波成分 HF (0.15~0.5Hz) と低周波成分 LF (0.04~0.15Hz) をそれぞれ積分して, その時間変動を求め, 走行開始前 10 分間の平均値で全体を割り正規化した. LF は交感・副交感両神経活動の影響を受け, HF は副交感神経活動の影響を受けるとされているので, LF/HF を交感神経指標, HF を副交感神経指標として用いた. 自律神経活動の緩徐な変化をみるために, 周期 6 分以上の変動成分を取り出した.

心電図の計測には, ディスポ電極 F ビットロード (日本光電工業株式会社製) と 8 チャンネル生体アンプ BA1008 (株式会社デジテックス研究所製), USB-6008 (NATIONAL INSTRUMENTS 製) を用いた. なお, 生体アンプの感度, 時定数, 高域遮断周波数それぞれ,  $200\mu\text{V}/0.5\text{V}$ , 0.3 秒, 100Hz に設定した. また, データは 1000Hz/1ch でサンプルし, バイナリファイルに保存した.

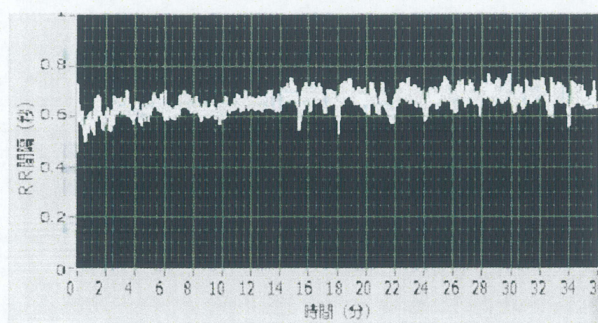


図 4-3 : RR 間隔

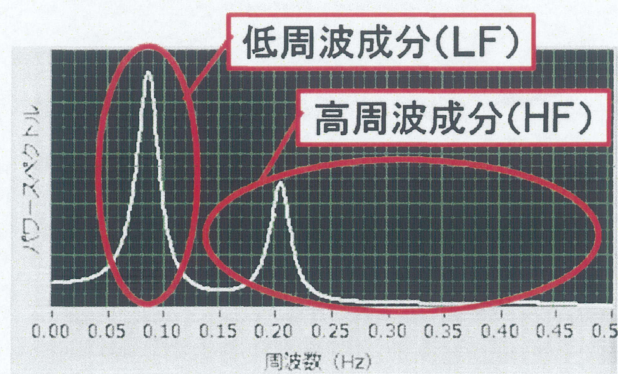


図 4-4 : パワースペクトル



## 4.2結果

心臓自律系活動のデータを21分間走行後の不快感の大きさにより、不快感0, 不快感1, 2, 不快感3, 4, 不快感5以上の4グループに分け、それぞれで平均を求めた(図4-5)。コントロールは31分間の実験中ずっと停車したままの状態に測定したものである。

不快感5以上のグループ(赤線)について見てみると、交感神経活動は走行開始前は他のグループと同様、あまり変化が見られなかった。しかし、走行を開始すると不快感の増大とともに徐々に値が大きくなり、最終的には走行前の約4倍の値になった。一方、副交感神経活動は、走行開始前10分間の平均の約0.7倍まで値が小さくなっているが、交感神経活動ほど大きな変化は見られなかった。

不快感5以上のグループ以外は、あまり差が見られなかった。

また、交感神経系と副交感神経系は一つの臓器に対して、一般的に拮抗的に働くが、本研究の計測では必ずしも拮抗的に働いてはいなかった。

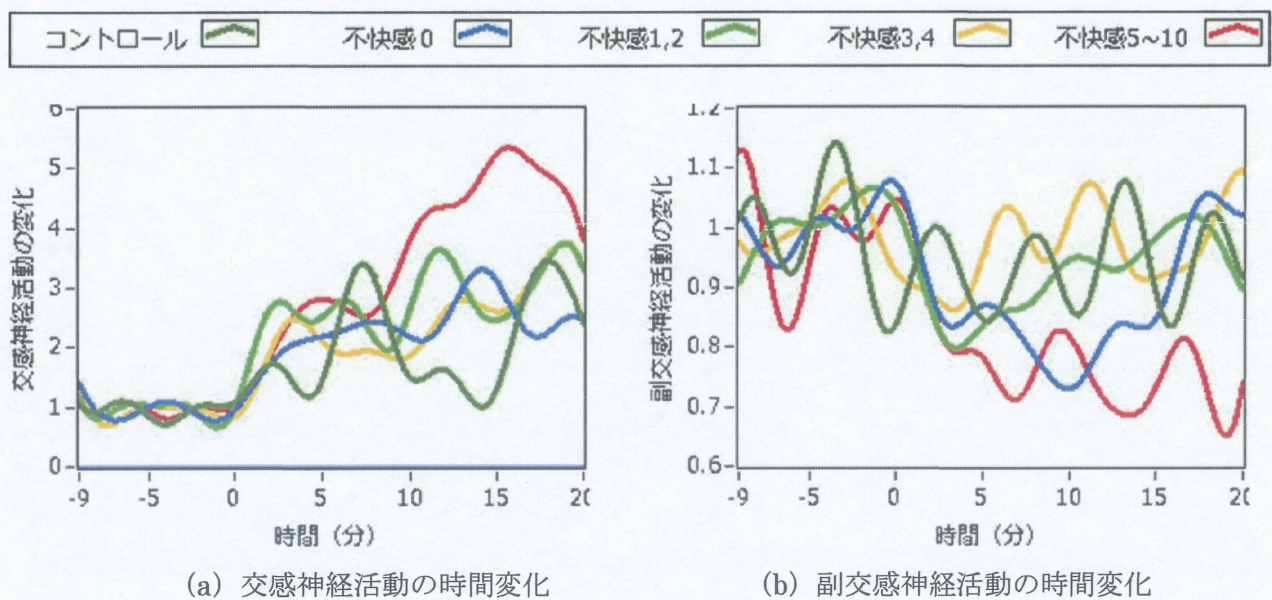


図 4-5 : 心臓自律系活動の時間変化



### 4.3 考察

不快感 5～10 のグループが、他のグループよりも大きな変動を示していることから、車酔いと心臓自律系活動の間に相関がある可能性が高い。一方、不快感 5～10 以外のグループはあまり差が見られない。不快感を強く感じる程度の車酔いを発症しないと心臓自律系活動は変化しないと考えられる。従って、心臓自律系活動の変化を車酔いの指標として用いるには、不快感を強く感じたグループのデータのみを使用する必要があると考えられる。今回は不快感を強く感じたグループのデータ数が少ない為、心臓自律系活動の変化からは対策映像の評価ができなかった。

一つの臓器に対して交感神経系と副交感神経系は一般的に拮抗的に働く。しかし、本研究で計測した心臓自律系活動の速い変化の成分を見ると、必ずしも拮抗的に働いていなかった。即ち、車酔い発症により自律神経活動のバランスが崩れたと考えられる。

2.2～2.4 章の実験では、パワースペクトルの低周波成分と高周波成分の閾値は 0.15Hz に固定したが、低周波成分と高周波成分の切れ目には変動が見られ、これらを必ずしも適切に区切れなかった (図 4-6)。そこで、2.5 章の実験では 0.12Hz～0.2Hz の最小値を閾値とした。しかし、切れ目がその範囲内に入らないこともあった。これは範囲設定が不適切というよりも、パワースペクトルの波形自体が正しくない可能性が高い。

パワースペクトルが正しく推定されない原因は次数が最適ではないことにあると思われる。MEM でパワースペクトルを求める際に、AIC を用いて最適な次数を求めようとしたが、次数が極端に小さくなることがあった。本稿では AIC を適用して次数が極端に小さくなったときだけ 16 次に固定したが、あまり効果は見られなかった。この誤差により自律神経活動が変化しているように見えている可能性もあるため、更なる改善が必要である。

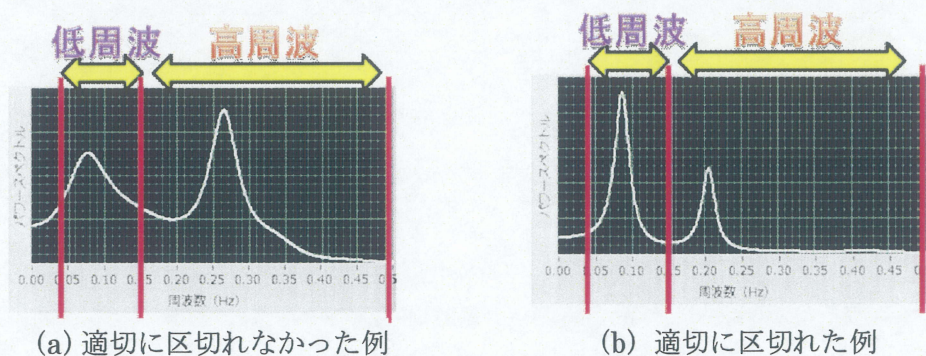


図 4-6 : 低周波と高周波の範囲



## 5 謝辞

本研究を行うに当たって、有益なご指導、助言を頂いた井須尚紀教授、河合敦夫准教授、増田修氏に心から感謝いたします。また、多大な不快感を伴うにもかかわらず実験にご協力いただいた被験者の方々に深く感謝いたします。そして、苦楽を共にし、支え続けてくれた共同研究者の森本明宏氏、辻仁志氏、杉浦友香氏、堂西幸紀子氏、浜田悠生氏に心より感謝いたします。さらには、学生生活を楽しく実りあるものにして下さった人工知能研究室ならびに近隣研究室的皆さまに感謝いたします。

最後になりましたが、大学院まで進学させて頂き、様々な面でいつも私を温かく見守り続けてくれた両親、家族に心から感謝いたします。



## 6 参考文献

- [1] Morimoto A, Isu N, Ioku D, Asano H, Kawai A, and Masui F; Effects of reading books and watching movies on inducement of car sickness, Proceedings of FISITA 2008 World Automotive Congress(CD-ROM), F2008-02-24, 2008.
- [2] 森本明宏, 井須尚紀: “乗車中の車載 TV 視聴が車酔い発症に与える影響”, 宇宙航空環境医学, 45, 51-59, 2008
- [3] Reason, J. T. and Brand, J. J. : Motion Sickness, Academic Press, London, 1975.
- [4] Griffin, M. J. and Newman, M. M. : Visual field effects on motion sickness in cars. Aviat Space Environ Med, ; 75, pp. 739-748, 2004.
- [5] 森本明宏, 井須尚紀: 乗車中 TV 視聴する際の車酔い低減対策, 宇宙航空環境医学, vol43, pp174, 2006.
- [6] 森本明宏, 奥村友裕, 日高教孝, 朴丹, 荒木佑介, 榊井文人, 河合敦夫, 井須尚紀: TV 視聴時の車酔い低減対策, 情報科学技術レターズ, vol5, pp323-326, 2006.
- [7] Morimoto A, Isu N, Okumura T, Araki Y, Kawai A, and Masui F; Reduction of car sickness caused by watching onboard display for rear-seat entertainment, Proceedings of the 15th World Congress on Intelligent Transport Systems (CD-ROM), IS03-10144, 2008.
- [8] Morimoto A, Isu N, Okumura T, Araki Y, Kawai A, and Masui F; Screen design of onboard displays for reducing car sickness, Proceedings of FISITA 2008 World Automotive Congress (CD-ROM), F2008-02-23, 2008.
- [9] 辻仁志, 森本明宏, 日高教孝, 朴丹, 小山哲弘, 榊井文人, 河合敦夫, 井須尚紀: TV 視聴時の車酔いを低減する映像表示法, 信学会 ソサイエティ大会 2007 講演論文集, A-20-15, 2007.
- [10] 辻仁志, 森本明宏, 井須尚紀: 車載 TV 視聴時に生じる車酔いの低減対策, 宇宙航空環境医学, vol44, 2007.
- [11] 日高教孝, 森本明宏, 奥村友裕, 朴丹, 荒木祐介, 榊井文人, 河合敦夫, 井須尚紀; 呼気終末二酸化炭素分圧による動揺病強度推定法を用いた車酔い低減技術の評価, 第 5 回情報科学技術フォーラム(FIT2006)講演論文集, K057, 2006
- [12] 小山哲弘, “車酔いが心臓自律系活動に及ぼす影響について”, 2007
- [13] 丹後俊郎; 新版医学への統計学, 朝倉出版, pp65-68, pp144-147, 1993
- [14] 難波精一郎, 桑原園子; 音と評価のための心理学的測定法, コロナ社, pp76-79, 1998
- [15] 田中良久; 心理学的測定法, 東京大学出版会, pp159-160, pp182-184, 1977