

# 修士論文

## 車酔抑制を目指した 車載ディスプレイの開発 —映像表示法の開発—



平成 18 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

朴 丹

2007 年度  
修士論文

車酔抑制を目指した  
車載ディスプレイの開発  
—映像表示法の開発—

三重大学大学院 工学研究科  
博士前期課程 情報工学専攻

PIAODAN (朴丹)

指導教官	井須 尚紀
審査教員 主査	井須 尚紀
副査	河合 敦夫
副査	児玉 哲司

2007 年 2 月

## 摘 要

精密なカーナビや、車の助手席や後部座席用の車載ディスプレイの普及によって、走行中にも道路検索、テレビや映画の観賞などができ、車内での便利さと楽しさが与えられた。しかし、車載ディスプレイの使用のために、動揺病を発症する人の増加も懸念される。そのため、動揺病の症状が軽減できる車載ディスプレイの開発が必要である。一方、車酔い対策の有効性を検証するために、動揺病強度を客観的に表現できる実用的な指標を求めることも必要である。

走行中の映画観賞による動揺病の発症は、感覚矛盾説により説明できる。ディスプレイに映し出された映画世界での動きを受容する視覚と、車体の運動によって生じる身体の動きを受容する平衡感覚の間に自己運動に関する感覚情報の矛盾が生じ、動揺病が誘起されると考えられる。本研究では、動揺病の発症を抑制するため、平衡感覚と一致した視覚誘導性自己運動感覚を発生させる映像提示法を考案した。

まず走行中の映画観賞により動揺病がどの程度増強するかを調べた。走行中の映画観賞あるいは読書と普通乗車との比較実験を行った結果、映画観賞による動揺病強度は、普通乗車の2倍で、読書の0.83倍であった。次に、視覚誘導性自己運動感覚を発生させる映像提示法の、動揺病軽減効果を調べた。車体のヨー回転の角速度に合わせて水平移動する背景を主映像の周辺に設置する対策案1、車体のヨー回転の角速度に合わせて主映像を回転する対策案2、対策案1、2を合わせた対策案3を施し、普通乗車、走行中の映画観賞との比較実験を行った。さらに、車体の加速度に合わせて周辺映像を移動させる対策案についても比較実験を行った。各対策案で、動揺病強度の時間推移を原点通過の直線に回帰し、映画観賞での回帰直線の傾きが普通乗車での傾きまで抑えられたときの改善率を100%とすると、いずれも7割以上の抑制効果が得られた。一方、動揺病強度の客観的な実用指標を求めるため、コリオリ刺激装置を用いて動揺病を発症させ、呼気二酸化炭素濃度を測定した。受忍限界までに終末呼気二酸化炭素濃度が平均15%程度低下する結果が得られた。動揺病強度の客観的指標として呼気二酸化炭素濃度を利用できる可能性が示唆された。

# 目 録

第一章 緒言.....	3
1.1 はじめに.....	3
1.2 研究の目的.....	3
第二章 乗車中映画観賞による動揺病の発症.....	4
2.1 動揺病.....	4
2.2 平衡感覚.....	4
2.3 車酔い発症へ繋がる刺激.....	5
第三章 映画観賞と車酔いの関係.....	6
3.1 実験方法.....	6
3.2 実験結果.....	7
3.3 考察.....	8
第四章 車載ディスプレイ使用による動揺病抑制手法Ⅰ.....	9
4.1 3種類の対策案.....	9
4.2 実験方法.....	10
4.3 実験結果.....	11
4.4 考察.....	13
第五章 車載ディスプレイ使用による動揺病抑制手法Ⅱ.....	15
5.1 4種類の対策案.....	15
5.2 実験方法.....	17
5.3 実験結果.....	18
5.4 まとめ.....	20
第六章 呼気二酸化炭素分圧測定による動揺病強度の評価.....	22
6.1 実験方法.....	22
6.2 実験結果.....	23
6.3 考察.....	24
第七章 まとめ.....	25
謝辞.....	26
参考文献.....	27

# 第一章 緒 言

## 1.1 はじめに

精密なカーナビや、車の助手席や後部座席用の車載ディスプレイの普及によって、走行中にも道路検索、テレビや映画の観賞などができ、車内での便利さと楽しさが与えられた。しかし、車載ディスプレイの使用のために、動揺病(Motion Sickness)を発症する人の増加も懸念される。

走行中の映画観賞による動揺病の発症は、感覚矛盾説<sup>[1]</sup>により説明できる。ディスプレイに映し出された映画世界での動きを受容する視覚（視器）と、車体の運動によって生じる身体の動きを受容する平衡感覚（半規管、耳石器）の間に矛盾が生じ、動揺病が誘起され则认为<sup>[2]</sup>。

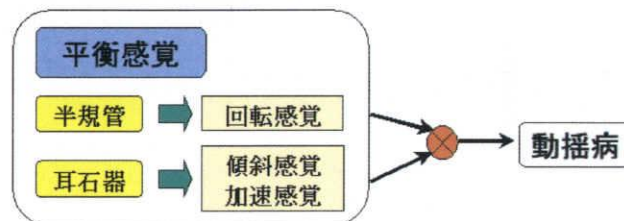


図 1-1 動揺病発症のメカニズム

## 1.2 研究の目的

乗車中に本や地図を見ると動揺病が発症しやすいことは、多くの人が経験するところである。同じメカニズムで、走行中テレビや映画の観賞を行うと動揺病が発症しやすくなる。しかし、カーナビや車載ディスプレイの普及により、走行中に映画を観賞するチャンスが増えてきた。感覚矛盾説により、車酔いを発症する人の増加が懸念される。そのため、動揺病の症状が軽減できる車載ディスプレイの開発が必要である。本研究は、感覚矛盾説に基づいて、動揺病の低減効果があるディスプレイの開発を行っている。

一方、車酔い対策の有効性を検証するために、動揺病強度を客観的に表現できる実用的な指標を求めることも必要である。本研究は、生体情報に基づいて、動揺病不快感強度を示せる客観尺度を求めることに努めている。

## 第二章 乗車中映画観賞による動揺病の発症

### 2.1 動揺病

車酔い、空酔い、宇宙酔いなど乗り物の揺れによって発症する動揺病(Motion Sickness)は乗り物酔いや加速度病とも呼ばれる。

動揺病は、前庭情報（半規管、耳石器）、視覚情報（視器）、体性感覚情報（自己受容器）の矛盾によって発症すると考えられている<sup>[1]</sup>。例えば、車や飛行機の中は、外部と隔てられているため、急発進や急停止、道のカーブや気流による揺れなどに対応する加速や減速、遠心力などの刺激は内耳が受けている。そこで、眼から入ってくる情報と、内耳で感じているバランス情報とのあいだに競合が生じるため、動揺病が発症する。

動揺病は、頭重感、冷汗、唾液分泌亢進、顔面蒼白、吐き気、嘔吐などの代表的な症状がある。時には、頭痛やめまい、眠気などの不快な症状も現れる。動揺病は、その日の体調にも大きく左右される。睡眠不足、空腹や満腹、車内の空気の汚れなどは、動揺病に陥る危険性を高める。

### 2.2 平衡感覚

人の耳は、聴覚器官だけでなく、バランスを感知する器官としても働いている。

耳は、外耳、中耳、内耳などの3大部分で構成される。その中で、内耳は、蝸牛、半規管、耳石器などで構成される。蝸牛（かぎゅう）は、外耳、中耳とともに、外界から伝わってくる音を聞くための働きをする。半規管や耳石器は、バランスを感知するための働きをする。半規管(semicircular ducts)は、体の回転を感知し、耳石器(otolith organ)は、体の傾きや直線運動などを感知する<sup>[3]</sup>。



図 2-1 半規管、耳石器

半規管は、お互いにほぼ垂直な向きをした三つの半円形の骨半規管で構成される。骨半規管の内部はリンパ液で満たされている。人の体が動くと、リンパ液も相対的に動くため、全方向に対しての回転感覚が感知できる。そのため、半規管は回転によって生じる角加速度を感知し、人の脳に伝える。

耳石器は、内耳にある前庭(vestibule)という部分にある。感覚器に炭酸カルシウムとリン酸カルシウムの小さい結晶（耳石）が層になって詰まって、耳石器を構成する。人の体が急発進や急停止、遠心力など直線加減速運動が起こるとき、結晶が動くため、傾斜や位置の変化、加減速などが感知できる。そのため、耳石器は直線加減速運動によって生じる傾きや直線加速度を感知し、人の脳に伝える<sup>[4]</sup>。

## 2.3 車酔い発症へ繋がる刺激

走行中、車の中で映画の観賞を行うと、動揺病に陥る危険性が高まると懸念される。発症メカニズムは感覚矛盾説により説明できる。人の平衡器官は、車の急発進や急停止、カーブなどの刺激を受ける。それに対して、視覚器官は、ディスプレイを注視しているため、映画世界での動きによる刺激を受ける。平衡感覚情報と視覚情報の間に競合が生じ、動揺病が発症すると考えられる。

動揺病の発症を催す原因となる刺激は、次の3種類と考えられる。

種類 1：右や左のカーブを行う時、遠心力の作用を受けて側方への傾斜感覚が生じる耳石器とロール回転を感じない半規管との間に感覚情報の矛盾が生じる。

種類 2：発進や停止を行うとき、前後方向の加速度がかかるため、重力加速度との合成で前後方向の傾斜感覚が生じる耳石器とピッチ回転を感じない半規管との間に感覚情報の矛盾が生じる。

種類 3：外界から隔てられた車内を視野としているために視覚を介して生じる静止の感覚と、車体の動きのために平衡感覚を介して生じる運動感覚との間に感覚情報の矛盾が生じる。

走行中、車の中で映画を観賞する場合、種類 3 の刺激が一層強く働くと考えられる。視覚器官はただ相対的な静止性を感知するのではなく、映画世界の動きを受容するため、矛盾をより一層深めると考えられる。



### 第三章 映画観賞と車酔いの関係

走行中の映画観賞により、動揺病がどの程度増強するかを調べるため、つまり、映画観賞が車酔いに及ぼす影響を検証するため、走行中の映画観賞あるいは読書と普通乗車との比較実験を行った。

#### 3.1 実験方法

本実験は、20 歳前後の健康男女（男性 21 名、女性 10 名）を被験者に用いた。実験を行う前、被験者に実験の目的、手順、起り得る影響などについて説明し、書面による承諾を得た上で行った。実験用車は 7 人乗りのミニバンを使用し、映画観賞用のディスプレイを天井から座席のヘッドレストの高さに吊って設置した。被験者は 2 列目の座席から座らせた。車内設置は図 3-1 を参照する。



図 3-1 車内設置

実験は、普通乗車、走行中の映画観賞、絵本を読むなど、全部で 3 種類を行った。実験中車は信号がなくてカーブが多い坂道約 2.1km を、1 周 3 分のペースで、5 周 15 分間走った。実験用のコースを図 3-2 に示す。本実験では、運転習慣のばらつきにより実験に影響を及ぼさないように、運転手一人を雇用した。実験用の映画は、激しい運動場面がない穏やかな映画を選んだ。



図 3-2 実験コース



被験者に、評定尺度法(rating scale method)により、実験のスタートから1分毎に、不快感強度を0（不快感なし）から10（受忍限界）までの序数で、主観的に評価させた。但し、被験者が強度の不快感を催した場合は、その時点で刺激を中止し、不快感を受忍限界の10とした。

本実験は、普通乗車を39回、走行中の映画観賞を24回、絵本読みを25回、計88試行の実験を実施した。

### 3.2 実験結果

評定尺度法で得られた不快感強度を範疇判断の法則<sup>[5]</sup>に基づいて0~10の数に距離尺度化した。距離尺度化された不快感強度は、評定尺度法で得られた不快感強度と、概ね比例的な関係を持っていた。また、普通乗車、映画観賞、絵本読みなど3種類の不快感強度の時間推移は、いずれも直線的な増強を示した。

距離尺度化した不快感強度を乗車時間に対して直線回帰し、回帰直線の傾きを求めた。図3-3に示したように、普通乗車の傾きを1とすると、映画観賞の傾きは2、絵本読みの傾きは2.4であった。

本実験で、走行中映画観賞による動揺病不快感は、普通乗車の2倍であった。それは、走行中の絵本読みの0.83倍であった。3条件の実験結果に対し、t検定を行った結果、それぞれ $p<0.05$ で有意差が認められた。

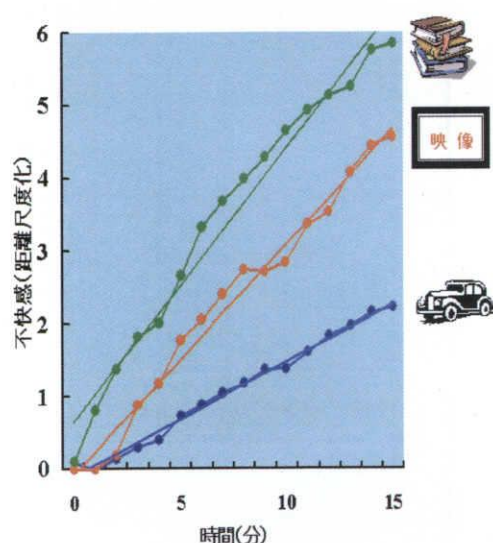


図 3-3 距離尺度化した動揺病不快感の時間推移

### 3.3 考察

走行中の映画観賞あるいは読書と普通乗車との比較実験を行った結果、映画観賞による動揺病強度は、普通乗車の2倍で、読書の0.83倍であった。普通乗車の時には、車の内部及び外界が見えると考えられる。走行中に映画の観賞を行う時には、主に映画中の世界での動きを受容し、外界の情報はほとんど遮断されることが考えられる。また、走行中に絵本を読む時には、細かな絵に集中し、更に下向きのため、外界は遮断される状態であると考えられる。

## 第四章 車載ディスプレイ使用による動揺病抑制手法Ⅰ

### —車体回転に対応する手法—

走行中、車の中で映画の観賞を行うと、動揺病に陥りやすいが、発症メカニズムは感覚矛盾説により説明できる。人の平衡器官は、車の急発進や急停止、カーブなどの刺激を受ける。それに対して、視覚器官は、ディスプレイを注視しているため、映画世界での動きによる刺激を受ける。平衡感覚情報と視覚情報の間に競合が生じ、動揺病が発症すると考えられる。

まっすぐな道で等速に走ることより、左右カーブが多くて、急行進および急ブレーキなどの操作の多いほうが、酔いやすいことは、よく知られている<sup>[6]</sup>。本章では、走行中、鉛直方向を回転軸とする車体の水平回転を主に考えた実験について述べる。本研究は、平衡感覚情報と視覚情報の間の矛盾を抑制することで、動揺病の発症を防ぐために、車体の回転情報を視覚に与え、視覚誘導性自己回転運動感覚が生じるような映像提示法を提案し、その有効性について検討した。

#### 4.1 3種類の対策案

##### 対策案1（縞模様）

映像に奥行き感がある時、ベクシオ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<sup>[7]</sup>。対策案1は、車体のヨー回転の角速度に合わせて水平移動する背景を主映像の周辺に設置することで、視覚情報と平衡感覚情報の間の競合を抑制する手法である（図4-1）。

背景は、縞模様のデザインを用い、式(4.1)により得られる  $v(t)$  の速度で、左右に動かした。車体が右カーブを行う時、背景の縞模様は左方向に流れ、車体が左のカーブを行う時、背景の縞模様は右方向に流れる。背景の流れ方向と車体のヨー回転方向は、逆方向である。

$$v(t) = -a \times \omega(t) \quad (4.1)$$

その中で、

$v(t)$  は、50cm 離れた地点から見た背景が左右に移動する角速度(deg/s)で、 $\omega(t)$  は、車体がヨー回転をする時の角速度(deg/s)である。a は、比率係数である。

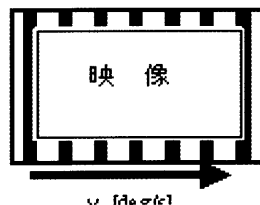


図 4-1 対策案1（縞模様）

### 対策案 2 (台形)

対策案 2 は、車体のヨー回転の角速度に合わせて主映像を回転することで、視覚情報と平衡感覚情報の間の競合を抑制する手法である (図 4-3)。

台形化された主映像は、式(4.2)により得られる回転角  $\theta(t)$  の大きさに、ディスプレイの横方向の中心を軸とし、時計回りあるいは逆時計回りをする。車体が右カーブを行う時、台形化された主映像は逆時計方向に回り、車体が左のカーブを行う時、台形化された主映像は時計方向に回る。主映像の回転方向と車体のヨー回転方向は、逆方向である。

$$\theta(t) = -b \times \omega(t) \quad (4.2)$$

その中で、

$\theta(t)$  は、台形化された主映像の回転角の大きさ(deg)で、 $\omega(t)$  は、車体がヨー回転をする時の角速度(deg/s)である。b は、比率係数である。



図 4-2 対策案 2 (台形)

### 対策案 3 (縞模様+台形)

対策案 3 は、対策案 1 と対策案 2 を合わせた手法である (図 4-3)。

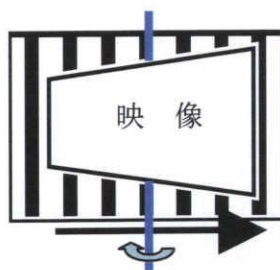


図 4-3 対策案 3 (縞模様+台形)

## 4.2 実験方法

本実験は、20 歳前後の健康男女 (男性 41 名、女性 15 名) を被験者に用いた。実験を行う前、被験者に実験の目的、手順、起り得る影響などについて説明し、書面による承諾を得た上で行った。

た。実験用車は座席が4列で10人乗りのミニバンを使用し、映画観賞用のディスプレイを天井から座席のヘッドレストの高さに吊って設置した。被験者は2列目の座席から座らせた（図3-1）。主映像は、ディスプレイの画面より縮小して映した。実験用の映画は、激しい運動場面がない穏やかな映画を選んだ。

実験は、以下の(1)~(3)の酔い対策を施した3種類と、有効性を検証するために、(4)、(5)の2種類、計5種類の条件下で実験を行った。

- (1) 車体のヨー回転の角速度に合わせて水平移動する背景を主映像の周辺に設置する（以下縞模様と略）対策案1を施した映画観賞
- (2) 車体のヨー回転の角速度に合わせて主映像を回転する（以下台形と略）対策案2を施した映画観賞
- (3) 対策案1、2を合わせた（以下縞模様+台形と略）対策案3を施した映画観賞
- (4) 普通乗車
- (5) 映画観賞

実験中、車は信号がなくてカーブが多い坂道約2.1kmを、1周3分のペースで、7周21分間走った（図3-2）。本章の実験では、車のヨー回転のみに対応する対策案を考証するため、急進行あるいは急ブレーキなしで、車体ができるだけ等速運動するように、運転手に指示した。また、運転習慣のばらつきにより、実験に影響を及ぼさないように、運転手一人を雇用した。

被験者に、評定尺度法(rating scale method)により、実験のスタートから1分毎に、不快感強度を0（不快感なし）から10（受忍限界）までの序数で、主観的に評価させた。但し、被験者が強度の不快感を催した場合は、その時点で刺激を中止し、不快感を受忍限界の10とした。

本実験は、普通乗車を57回、走行中の映画観賞を59回、対策案1（縞模様）を施した映画の観賞を25回、対策案2（台形）を施した映画の観賞を69回、対策案3（縞模様+台形）を施した映画の観賞を23回、計233試行の実験を実施した。

#### 4.3 実験結果

5種類の乗車条件で得られた動揺病不快感についての比較を行うためには、それぞれの実験に参加する被験者の動揺病感受性ができるだけ一致するように被験者を配置しなければならない。そこで、時間推移を横軸に、評定尺度法で得られた不快感強度を縦軸にし、各被験者の一試行毎

に、最小二乗法によって回帰直線の傾きを算出し、回帰直線の傾きの平均値を求め、被験者の動揺病感受性とした（図 4-4）。

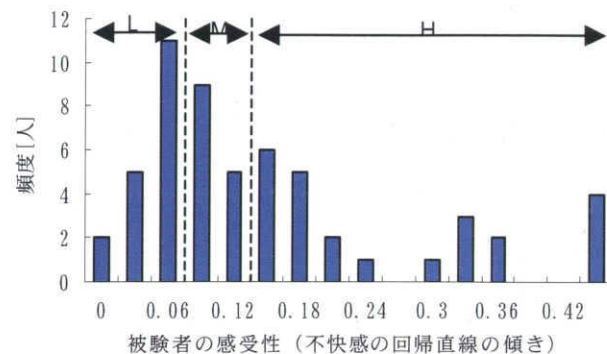


図 4-4 動揺病感受性の分布及び分割

5 種類の乗車条件で行った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。5 種類の乗車条件で 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、動揺病感受性がそれぞれの乗車条件で一致するようにした。

補正された評定値の分布を用いて不快感強度を範疇判断の法則<sup>[5]</sup>に基づいて 0~10 の数に距離尺度化し、実験毎に不快感強度の平均値を求めた。図 4-5 に示したように、5 種類の乗車条件で、動揺病不快感の時間推移は、いずれも直線的な増強を示した。距離尺度化した動揺病強度の時間推移を原点通過の直線に回帰し、回帰直線の傾きを求めた。それぞれの乗車条件での傾きを、表 4-1 に示す。

乗車条件	傾 き	改善率[%]
普通乗車	0.118	—
映画観賞	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

表 4-1 回帰直線の傾きと改善率

映画観賞での回帰直線の傾きが普通乗車での傾きまで抑えられたときの改善率を 100%とすると、各対策案でいずれも 7 割以上の抑制効果が得られた。t 検定を行った結果( $p < 0.05$ )、映画観賞時の動揺病不快感に比べて、3 つの対策案はいずれも動揺病不快感を有意に抑制できることが認められた。



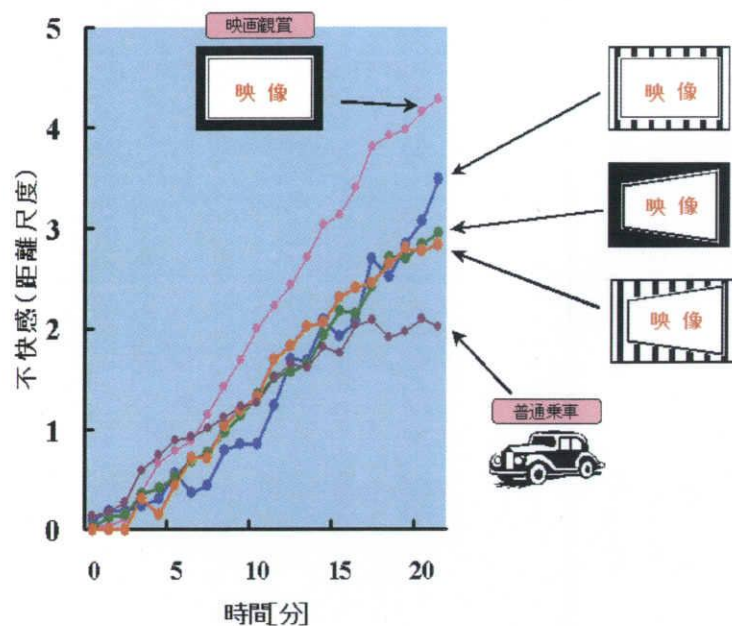


図 4-5 不快感強度の時間推移

#### 4.4 考察

走行中に映画の観賞を行うと、視器はディスプレイに映し出された映画世界での動きを受容するため、車体の運動によって生じる身体の動きを受容する平衡感覚の間に関する自己運動感覚情報の矛盾が一層増強することで、動揺病不快感強度が強まる。本実験では、視覚誘導性自己運動感覚を発生させる映像提示法を用いて、視器に車体の運動と同じような動きを与えることで、視覚情報と平衡感覚情報の間の矛盾を減少させることによって、顕著な車酔い抑制効果が得られることが検証された。

3つの対策案はいずれも7割以上の抑制効果が得られた。対策案3は、対策案1と対策案2を合わせて使用したため、対策案1と対策案2の相乗効果によりもっと強い抑制効果が得られると予測したが、有意差のない結果であった。このような結果が得られたことは、3つの対策案はいずれも車体のヨー回転のみに対応する改善手法であるため、ほぼ同じ程度の抑制効果が得られたと思われる。対策案3で、背景の縞模様と台形化された主映像を動かす式に用いた2つの比例係数を、対策案1及び対策案2の比例係数と同等にしたが、両者の相互作用を考慮した比例係数を



用いれば、もっと良い車酔い抑制効果が得られる可能性もある。

また、平衡感覚と一致する視覚誘導性自己運動感覚を発症させる縞模様及び台形の動きには個人差が大きい。本研究では、全体の被験者に同じ比例係数を用いて各対策案の車酔い抑制効果を調べた。各被験者に最適な比例係数を求めた上で、実験を行えば、もっと良い車酔い抑制効果が得られる可能性がある。

## 第五章 車載ディスプレイ使用による動揺病抑制手法Ⅱ

### —加減速及び遠心力を加えた手法—

山道のようなカーブの大きい道では、回転の角速度は小さいが、大きな遠心加速度が作用する。また、車の加速や減速が繰り返される。本研究では、車体のヨー回転時に角速度だけでなく遠心加速度にも対応する動きを、車の加減速時に加速度に対応する動きを視覚を介して知覚させ、走行中の映画観賞による車酔いを抑制する映像提示法を提案し、車酔い対策案の有効性について検討した。

#### 5.1 4種類の対策案

映画の周辺に、映画と同じ大きさ（高さ及び幅）のトンネル状の映像を配置する。

##### (1) 直線加速度に対応する手法

車体の発進や停止に対応する手法で、トンネル状の周辺映像を前後に伸張しながら移動させることで、車体の直線加速度の情報を視覚に与える。トンネルの前後方向の位置を前後方向の加減速に比例して前回の位置からずらしながら移動させる。また、トンネルの移動効果を高めるため、加減速に比例してトンネルを前後方向に伸長させる。

##### (2) 遠心加速度に対応する手法

車体の遠心力に対応する手法で、トンネル状の周辺映像の上下部分を左右に移動することにより、車体が大きいカーブを曲る情報を視覚に与える。トンネルの上下部分の位置を遠心加速度に比例させて左右に移動させる。

##### (3) ヨー角速度に対応する手法

車体のヨー角速度に対応する手法で、主映像とトンネル状の周辺映像を回転させることにより、車体の回転情報を視覚に与える。ヨー回転の角速度に比例させて主映像とトンネルをディスプレイの横方向の中心を軸として回転させる。

#### 対策案1（ヨー角速度+遠心加速度+加速度）

図 5-1 に示したように、対策案 1 は、車体のヨー角速度と遠心加速度及び直線加速度に対応する総合的な対策案である。トンネル状の周辺映像と主映像をディスプレイの横方向の中心を軸と

し、車体のヨー回転の角速度に合わせて時計回りあるいは逆時計回りをしながら、トンネル状の周辺映像を直線加速度に合わせて前後に移動しながら伸長する。また、トンネル状の上と下の辺を遠心加速度に合わせて左右に移動する。

ヨー回転の角速度に合わせるトンネル状の周辺映像と主映像の回転方向は、車体の回転方向と逆方向である。車体が左カーブを行う時、トンネル状の周辺映像と主映像は時計回りの方向に回転する。直線加速度に合わせるトンネル状の周辺映像の移動方向と加速度の方向は逆方向である。車体が止まる時、主映像はまるで奥に進むように見える。遠心加速度に合わせるトンネル状の上と下の辺は遠心加速度の方向と一致する方向である。車体が左に回転する時、トンネル状の上と下の辺は右に流れる。

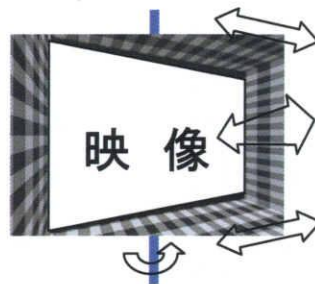


図 5-1 対策案 1

#### 対策案 2 (加速度)

図 5-2 に示したように、対策案 2 は、車体の直線加速度に対応する対策案である。トンネル状の周辺映像を直線加速度に合わせて前後に移動しながら伸長する。直線加速度に合わせるトンネル状の周辺映像の移動方向と加速度の方向は逆方向である。車体が止まる時、主映像はまるで奥に進むように見える。



図 5-2 対策案 2

### 対策案3（ヨー角速度+遠心加速度）

図 5-3 に示したように、対策案 3 は、車体のヨー角速度及び遠心加速度に対応する対策案である。トンネル状の周辺映像と主映像をディスプレイの横方向の中心を軸とし、車体のヨー回転の角速度に合わせて時計回りあるいは逆時計回りをしながら、トンネル状の上と下の辺を遠心加速度に合わせて左右に移動する。

ヨー回転の角速度に合わせるトンネル状の周辺映像と主映像の回転方向は、車体の回転方向と逆方向である。車体が左カーブを行う時、トンネル状の周辺映像と主映像は時計回りの方向に回転する。遠心加速度に合わせるトンネル状の上と下の辺は遠心加速度の方向と一致する方向である。車体が左に回転する時、トンネル状の上と下の辺は右に流れる。

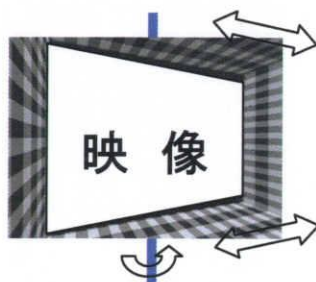


図 5-3 対策案 3

### 対策案4（ヨー角速度）

図 5-4 に示したように、対策案 4 は、車体のヨー角速度に対応する対策案である。トンネル状の周辺映像と主映像をディスプレイの横方向の中心を軸とし、車体のヨー回転の角速度に合わせて時計回りあるいは逆時計回りをする。ヨー回転の角速度に合わせるトンネル状の周辺映像と主映像の回転方向は、車体の回転方向と逆方向である。車体が左カーブを行う時、トンネル状の周辺映像と主映像は時計回りの方向に回転する。

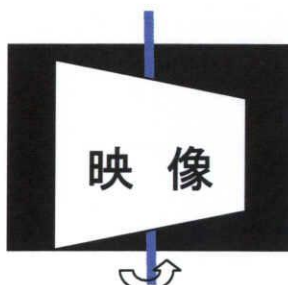


図 5-4 対策案 4

## 5.2 実験方法

本実験は、20 歳前後の健康男女（男性 53 名、女性 23 名）を被験者に用いた。実験を行う前、被験者に実験の目的、手順、起り得る影響などについて説明し、書面による承諾を得た上で行った。実験用車は座席が 4 列で 10 人乗りのミニバンを使用し、映画観賞用のディスプレイを天井から座席のヘッドレストの高さまで吊って設置した。被験者は 2 列目の座席から座らせた(図 3-1)。主映像は、ディスプレイの画面より縮小して映した。実験用の映画は、激しい運動場面がない穏やかな映画を選んだ。

実験は、以下の(1)~(4)の車酔い対策を施した 4 種類と、有効性を検証するために、(5)、(6)の 2 種類、計 6 種類の条件下で実験を行った。

- (1) 車体のヨー角速度と遠心加速度及び加減速に対応する対策案 1 を施した映画観賞
- (2) 車体の加減速に対応する対策案 2 を施した映画観賞
- (3) 車体のヨー角速度及び遠心加速度に対応する対策案 3 を施した映画観賞
- (4) 車体のヨー角速度に対応する対策案 4 を施した映画観賞
- (5) 普通乗車
- (6) 映画観賞

実験中、車は信号がなくてカーブが多い坂道約 2.1km を、1 周約 3 分のペースで、7 周 21 分間走った（図 3-2）。運転習慣のばらつきにより、実験に影響を及ぼさないように、運転手を一人のみ雇用した。

被験者に、評定尺度法(rating scale method)により、実験のスタートから 1 分毎に、不快感強度を 0（不快感なし）から 10（受忍限界）までの序数で、主観的に評価させた。但し、被験者が強度の不快感を催した場合は、その時点で刺激を中止し、不快感を受忍限界の 10 とした。乗車条件毎の試行数は表 5-1 のようである。

実験条件	試行数
普通乗車	44
映画観賞	49
対策案1(ヨー回転+遠心力+加減速)	43
対策案2(加減速)	41
対策案3(ヨー回転+遠心力)	37
対策案4(ヨー回転)	34
合計	248

表 5-1 乗車条件毎の試行数

### 5.3 実験結果

6 種類の乗車条件で得られた動揺病不快感についての比較を行うためには、それぞれの実験に参加する被験者の動揺病感受性ができるだけ一致するように被験者を配置しなければならない。そこで、時間推移を横軸に、評定尺度法で得られた不快感強度を縦軸にし、各被験者の一試行毎に、最小二乗法によって回帰直線の傾きを算出し、回帰直線の傾きを正規化して平均値を求め、被験者の動揺病感受性とした（図 5-5）。

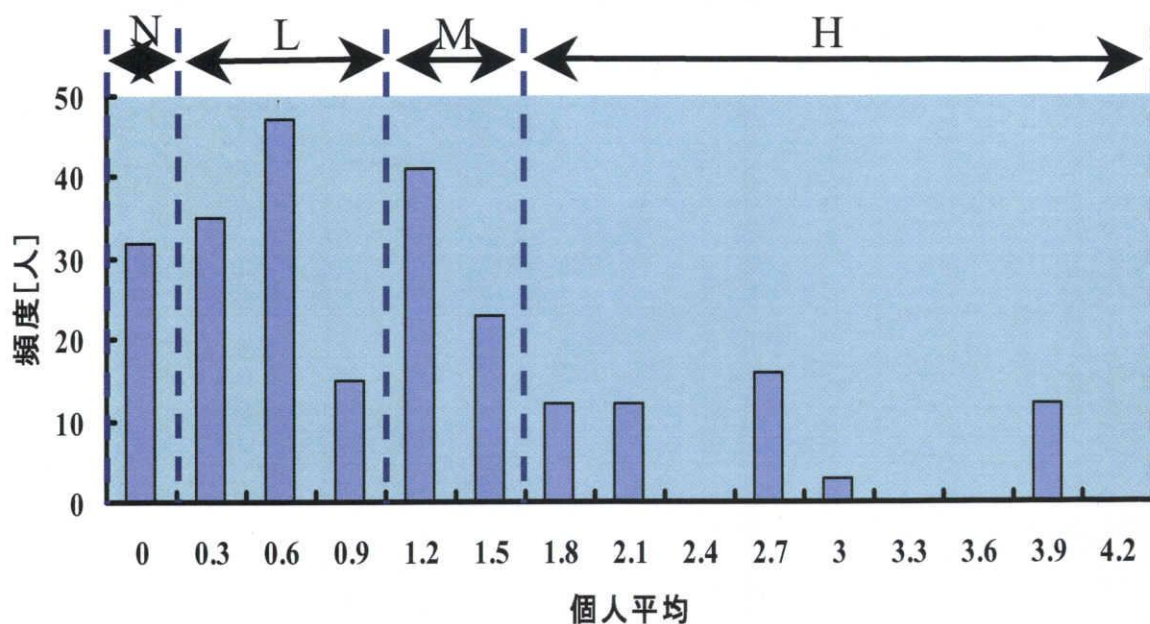


図 5-5 動揺病感受性の分布及び分割

6 種類の乗車条件で行った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 4 等分になるように被験者を感受性によって L、M、H、N に分割した。6 種類の乗車条件で L、M、H、N 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、動揺病感受性がそれぞれの乗車条件で一致するようにした。

補正された評定値の分布を用いて不快感強度を範疇判断の法則<sup>[5]</sup>に基づいて 0~10 の数に距離尺度化し、実験毎に不快感強度の平均値を求めた。図 5-6 に示したように、6 種類の乗車条件で、動揺病不快感の時間推移は、いずれも直線的な増強を示した。距離尺度化した動揺病強度の時間推移を原点通過の直線に回帰し、回帰直線の傾きを求めた。それぞれの乗車条件での傾きを、表



5-2 に示す。

乗車条件	傾き	改善率[%]
普通乗車	0.0739	—
映画観賞	0.2423	—
対策案1(ヨ一回転+遠心力+加減速)	0.2125	17.7
対策案2(加減速)	0.2045	22.4
対策案3(ヨ一回転+遠心力)	0.2019	24.0
対策案4(ヨ一回転)	0.2441	-1.1

表 5-2 回帰直線の傾きと改善率

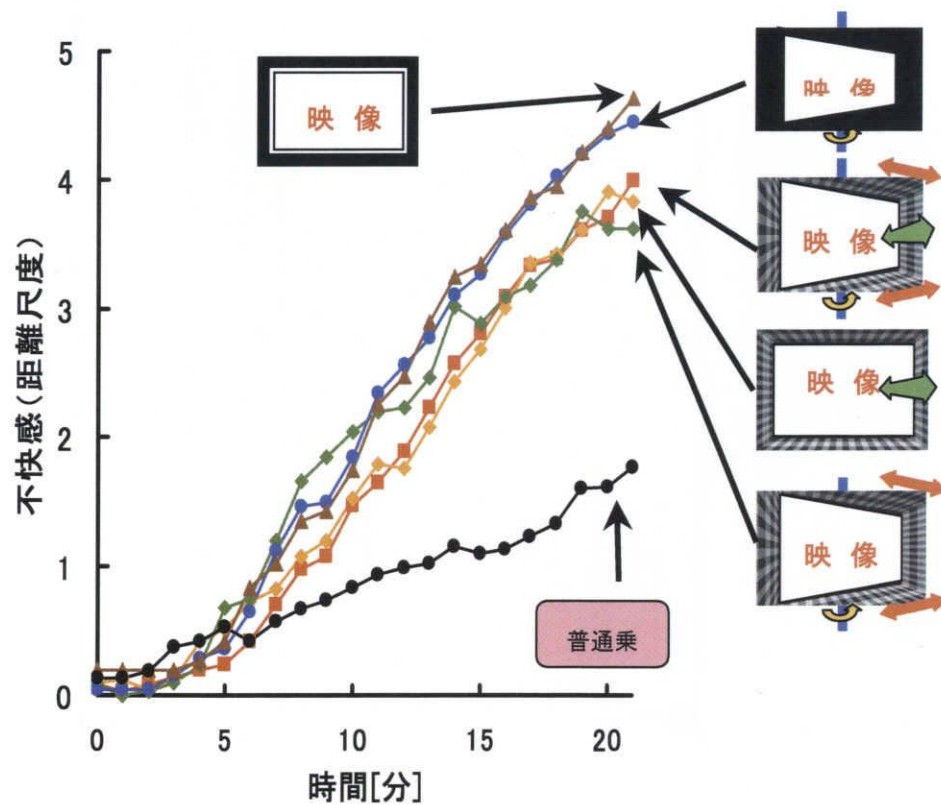


図 5-6 不快感強度の時間推移

映画観賞での回帰直線の傾きが普通乗車での傾きまで抑えられたときの改善率を 100%とすると、対策案 1、対策案 2、対策案 3 はそれぞれ 17.7%、22.4%、24.0%の改善率が得られた。

#### 5.4 まとめ



今回の実験で4つの対策案中3つの対策案は少しの改善が見られ、ヨ一回転のみに対応する対策案では逆の効果が得られた。このような結果が得られたのは、次のことが原因だと考えられる。

周辺映像が後ろにあると良い自己運動感覚が与えられる。第4章の実験で用いた縞模様の背景は映像の後ろに設置されたため、良い低減結果が得られたと考えられる。しかし、今回の実験に用いたトンネル状の周辺映像は映像の前に設置されたため、改善率が低下した可能性がある。

車体の直線方向に対応する対策で、トンネル状の背景を前後に移動したが、前後方向に加速度が生じた時、前や後ろに傾くように知覚されるため、上下に動かす方が良いかも知れない。

第4章の実験の予備実験で、背景の紋様の細かさや移動するスピードが実験結果に影響を及ぼす結果が得られた。背景の紋様が細かすぎると気分が悪くなりやすい。本章の実験では、3種の対策を同時に施すために周辺映像の紋様が第4章の実験より細かくなった。このことが改善率の低下に繋がったことも考える。

## 第六章 呼気二酸化炭素分圧測定による 動揺病強度の評価

車酔い対策の有効性を検証するために、動揺病強度を客観的に表現できる実用的な指標を求める必要がある。本研究では、動揺病の強度を客観的に表現する実用的指標を得るため、コリオリ刺激を用いて動揺病を発症させ、動揺病の強度と呼気二酸化炭素分圧との関係を検討した。

コリオリ刺激装置は、人の身体を水平回転させながら、前後方向に振子運動を与える装置である（図1）。コリオリ刺激は、半規管と耳石器間に感覚情報の矛盾を生じさせ、動揺病を効果的に誘起できる。

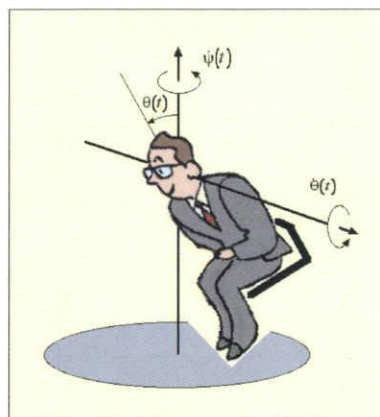


図1 コリオリ刺激装置

### 6.1 実験方法

本実験は、20歳前後の健康男女19名（男性12名、女性7名）を被験者に用いた。実験を行う前、被験者に実験の目的、手順、起り得る影響などを説明し、書面による承諾を得た上で行った。

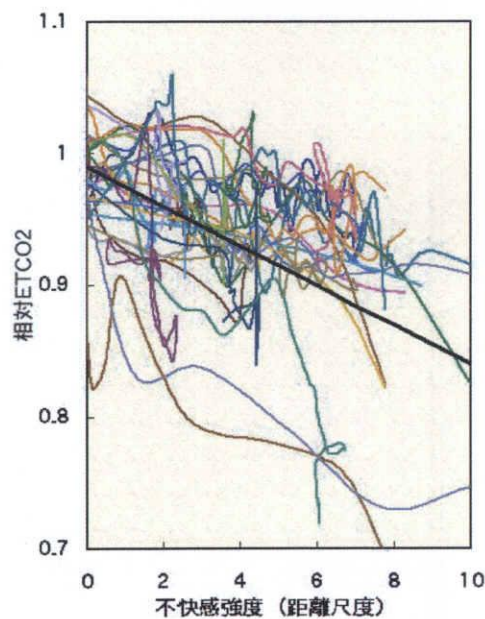
本実験は、室内（実験室）で行ったために、かなり強い動揺病不快感を催すことができるコリオリ刺激装置（2軸回転装置）を用いた。本実験では、被験者を水平に回転するコリオリ刺激装置の椅子に座らせ、被験者の両耳を結んだ線を軸として前後に振るように椅子の高さを調整した。被験者に、アイマスクと白色雑音を流したイヤホンを着用させ、視覚情報と聴覚情報を遮断した。ネイザルチューブを被験者の鼻腔内に挿入し、刺激開始5分前に呼気終末二酸化炭素分圧(ETCO<sub>2</sub>)の計測を開始した。半周期余弦波(180~360degpp, 10s)あるいは等角速度(60~150deg/s)の水平回転と1周期余弦波(10~40degpp, 10s)の垂直回転とを組合せたコリオリ刺激を、被験者に30分間与えて動揺病を発症させた。但し、被験者が強度の不快感を催した場合は、その時点で刺激を中止した。1回の刺激は10秒、各刺激の間隔は5秒とした。被験者に、評定尺度法により、コリオリ刺激の開始から1分毎に、不快感の強度を0（不快感なし）から10（受忍限界）までの序数で主観的に評価させた。強度の不快感で刺激を中止した被験者の不快感は受忍限界の10とした。被験者の動揺病感受性に応じて8種類のコリオリ刺激を用い、51試行の実験を実施した。

## 6.2 実験結果

評定尺度法で得られた不快感強度を範疇判断の法則に基づいて 0~10 の数に距離尺度化した。また、試行毎に、刺激開始以前 5 分間の平均  $\text{ETCO}_2$  を基準として刺激中の  $\text{ETCO}_2$  を正規化し、相対  $\text{ETCO}_2$  の時間推移を求めた。

刺激継続中に不快感が減弱（快復）したものが 12 例あったが、その内 9 例では不快感の快復に 2~5 分先行して相対  $\text{ETCO}_2$  の上昇（回復）が観察された。短時間で不快感が強度に増強した 12 例では、11 例で相対  $\text{ETCO}_2$  の低下も急峻であり低下幅が大きかった。

不快感強度と相対  $\text{ETCO}_2$  の相関を求めると、不快感を発生しなかった試行および 3 分以内に刺激を中止した試行を除く 45 試行中、28 試行(62%)において危険率 5%以下 (t 検定) で有意な相関



が見られ、平均の相関係数は-0.71 であった。

図 3 相対  $\text{ETCO}_2$  と不快感強度の相関

図 3 は、横軸に平滑化した距離尺度化不快感の強度を、縦軸に相対  $\text{ETCO}_2$  をとり、両者の時間的推移の相関を試行毎に表したものである。試行毎に相対  $\text{ETCO}_2$  を距離尺度化した不快感強度に直線回帰し、得られた回帰直線の平均を黒い直線で示している。傾きの平均値は-0.015 であり、不快感の受忍限界までに  $\text{ETCO}_2$  が平均 15%程度低下すると推定された。

## 6.3 考察

刺激継続中に不快感が減弱して再び増強した試行では、不快感の推移に先行する相対  $\text{ETCO}_2$  の変化が観察された。両者間の相関を低下させる要因となったが、不快感の増強を予見する指標として相対  $\text{ETCO}_2$  を用い得る可能性が示唆された。

本実験では、持続時間 10s のかなり強いコリオリ刺激を 30 分繰り返して与えた。通常の乗車中

には、長い時間に渡ってコリオリ刺激より弱い刺激を持続して受けると考えられる。そのため、不快感強度はゆっくり強まり、 $\text{ETCO}_2$  はゆっくり低下すると考えられる。本実験で、 $\text{ETCO}_2$  の顕著な低下が観測され、比較的安定した測定が可能なので、車酔い対策の有効性を検証するため、動揺病強度の客観的指標として呼気二酸化炭素濃度を利用できる可能性が示唆された。

## 第七章 まとめ

走行中、映画観賞を行う時の動揺病を抑制するため、映画と同時に車体の動きを視覚情報として与えることで、視覚と平衡感覚との矛盾を減少し、動揺病を低減する映像提示法を考案し、抑制効果について検討した。

まず走行中の映画観賞により動揺病がどの程度増強するかを調べた。映画観賞による動揺病強度は、普通乗車の2倍で、読書の0.83倍であった。次に、車体のヨー回転のみに対応する3つの対策案を施し、普通乗車、走行中の映画観賞との比較実験を行った。さらに、車体の加減速やカーブ中の遠心加速度に対応する手法を加えた4種類の対策案について検討した。動揺病強度の時間推移を原点通過の直線に回帰し、映画観賞での回帰直線の傾きが普通乗車での傾きまで抑えられたときの改善率を100%とすると、ヨー回転のみの対策では、いずれも7割以上の抑制効果が得られた。

## 【謝辞】

本修士論文が完成するまでに、多くの方々のご懇篤なご指導およびご支援をいただきました。感謝の気持ちはとても語りつくせないものでありますが、この場を借りて、お礼を述べさせていただきます。

本研究を行うにあたって、あらゆる面で、終始で日頃より暖かいご指導とかずかずの有益なご助言を賜りました指導教官である井須尚紀教授に心より深く感謝を申し上げます。先生は研究の楽しさを教えてくださり、たとえ失敗してもあきらめずに頑張ればきっと成功にたどりつくという強い信念を与えてくださいました。先生がご指導をお引き受けくださったお陰で、多くのことを吸収することができました。

研究のすべての段階で有益なご示唆と丁寧なご指導をいただいた助教授である河合敦夫先生および助手である榎井文人先生に厚くお礼申し上げます。また、研究者として学問を深く探求する姿勢をお教えてくださいました論文審査の先生方より、本論文に対する貴重な御意見、ご指導を承りましたことに深く感謝申し上げます。

実験の成功に不可欠な被験者として、風の日も雨の日も関らずいつも御協力をくださり、実験に参加された多くの学生諸氏にお礼申し上げます。

研究室の皆様と出会い、お互いに助け合いながら、支えながら歩いてきた修士勉強の二年間、気がついたらもう時間は去っていききましたが、皆様とすばらしい思い出を共有することができて、とても幸せに感じられました。人工知能研究室は、とても素敵な研究室でした。皆様の精神的に力強い支えのお陰で、ここまで来られました。一緒に研究を行う皆様の存在がとても大切であることが、身にしみるよう感じました。皆様に衷心より感謝申し上げます。

最後に、励まし続けてくれた家族や友人たちに深く感謝の意を込めてこの論文を差し上げます。

2007 年 2 月      三重大学にて      朴丹

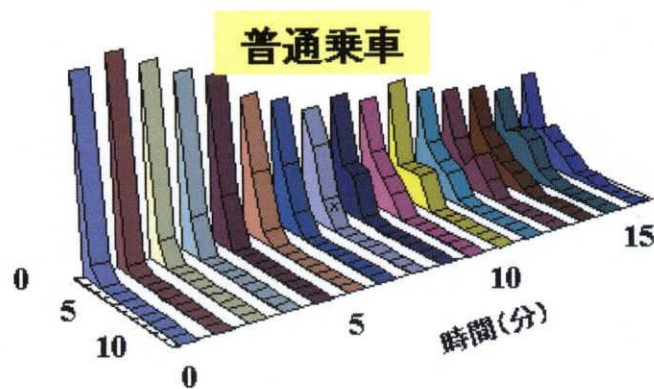
## 【参考文献】

- [1] Reason JT and Brand JJ: Motion Sickness, Academic Press, London, 1975.
- [2] 加藤和人, 北崎智之: 後席用ディスプレイ注視時の車酔い発生メカニズムの一考察. 自動車技術会学術講演会前刷集, No.20055223,2005
- [3] 小柳敏彦: からだの博物館～読む医学と健康の小辞典～  
<http://www.coara.or.jp/~tossy/hakubutukan/kankakuki.htm>
- [4] 眩暈（めまい）・めまい感 vertigo, 家庭の医学, <http://www.igaku.bz/z912.htm>, 2004
- [5] Torgerson, W.S.: Theory and Methods of Scaling, Jhon Wiley&Sons, New York, 1951
- [6] 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
- [7] Ohmi, M., Howard, I.P. and Landolt, J.P.: Circular vection as a function of foreground-background relationships, Perception, 16, 17-22, 1987

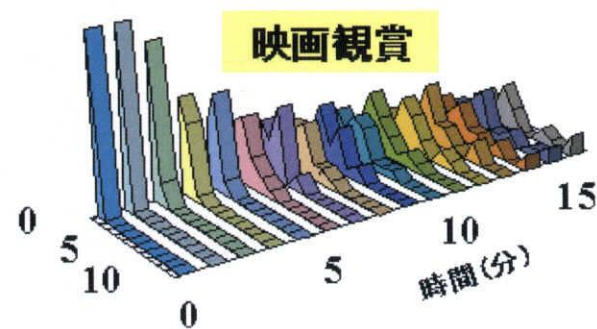


## 動揺病不快感の推移

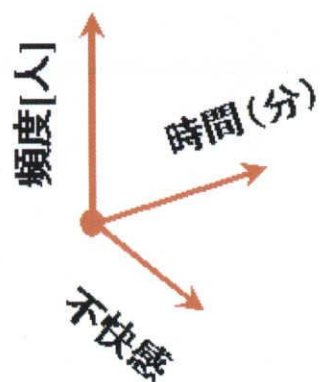
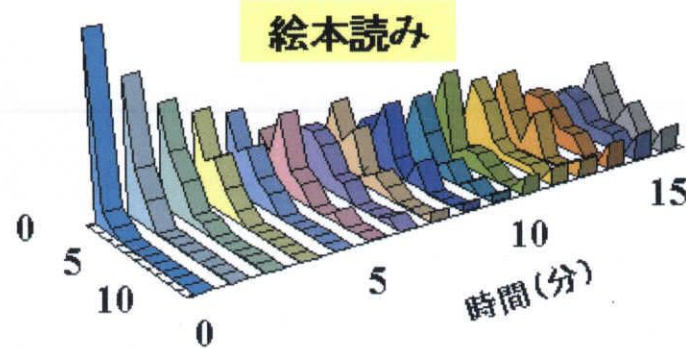
普通乗車



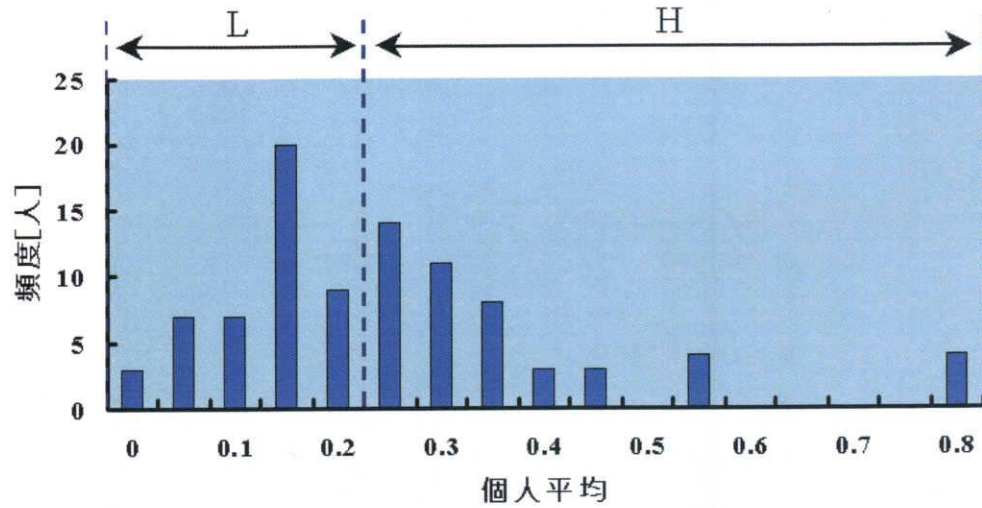
映画観賞



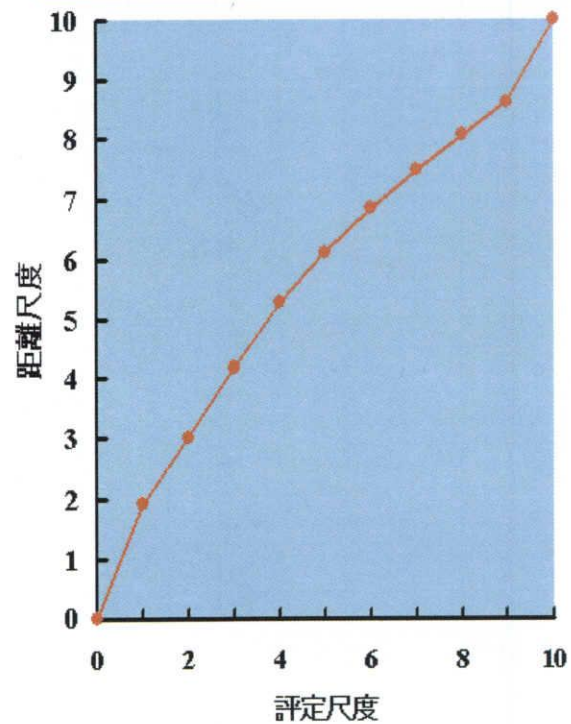
絵本読み



### 被験者の車酔感受性

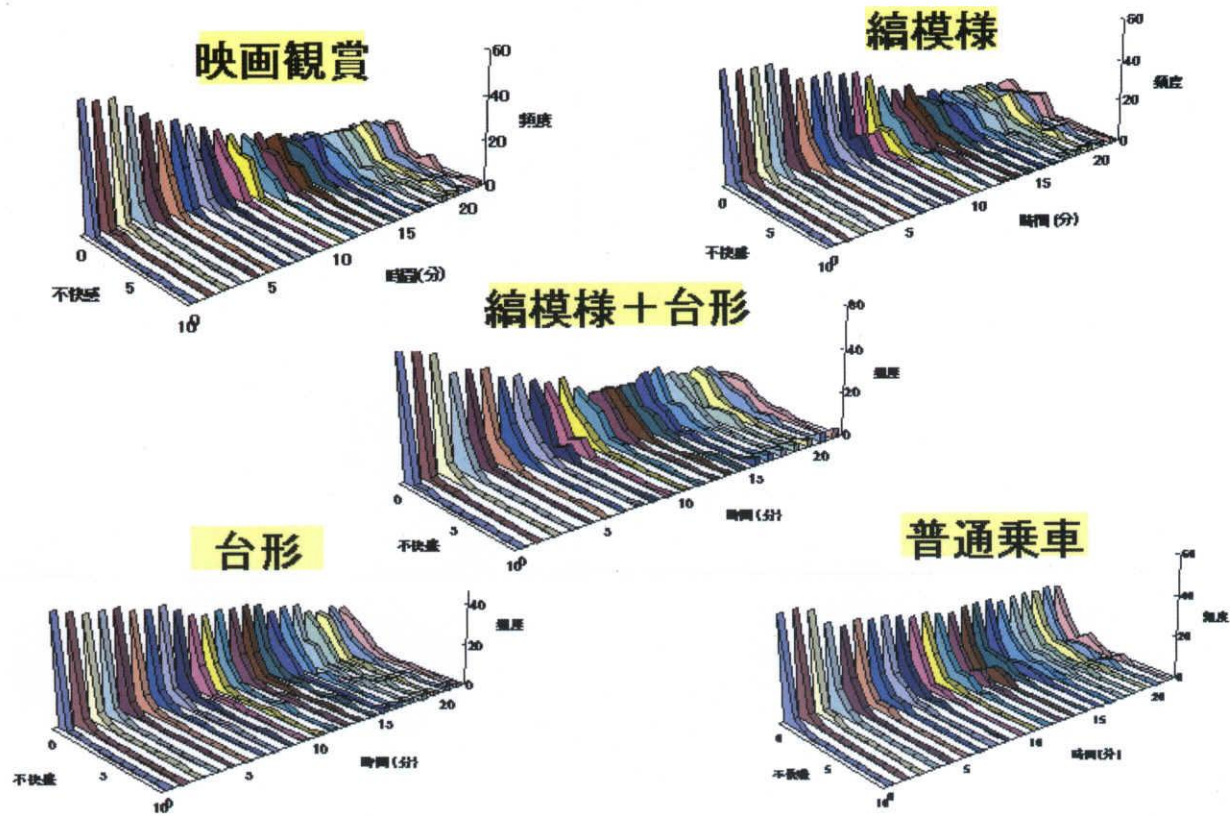


### 動揺病不快感の距離尺度

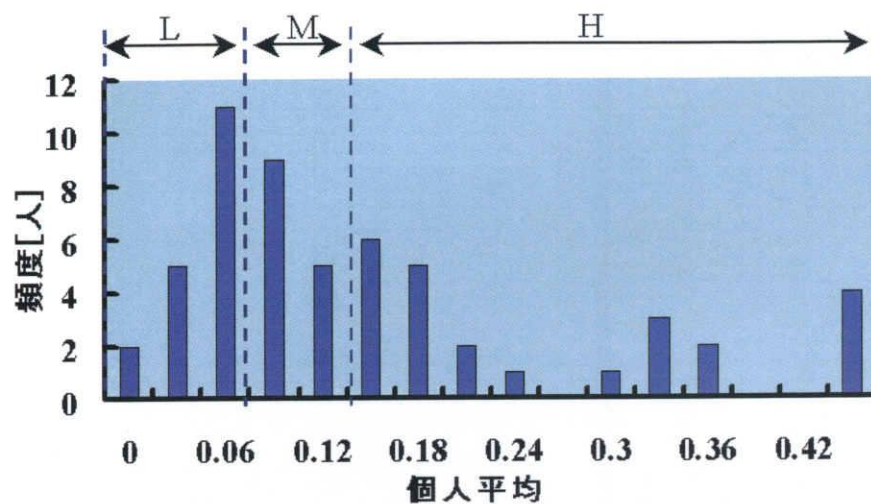


付  
録(第4章)

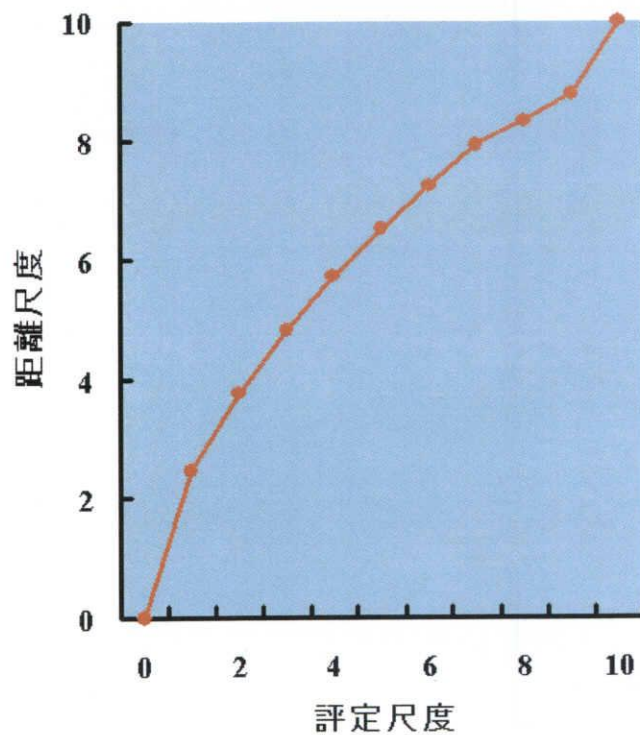
動揺病不快感の推移



### 被験者の車酔感受性

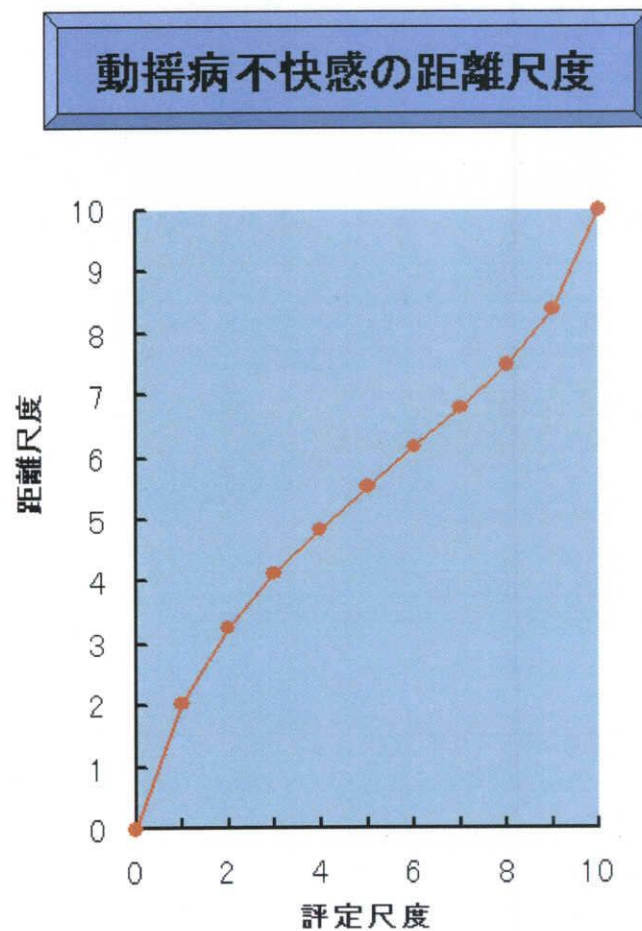
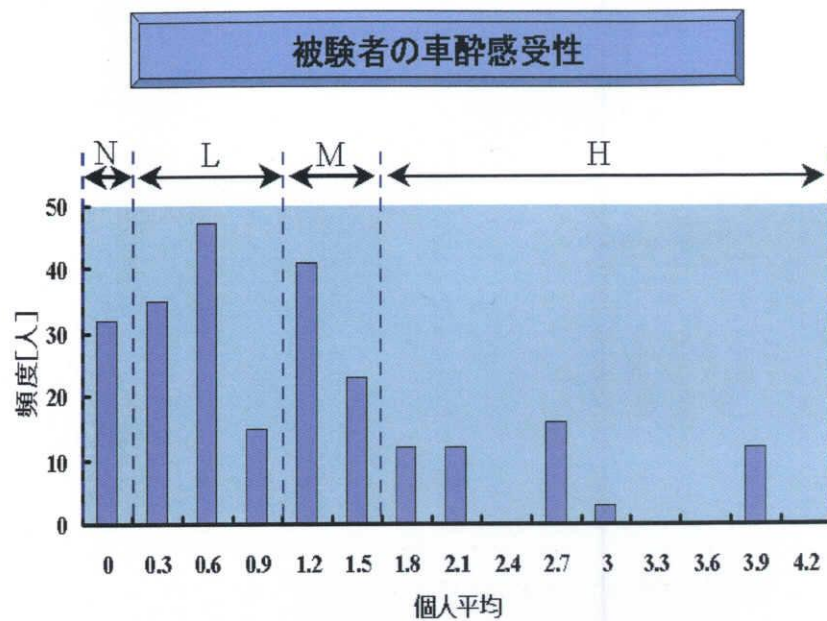


### 動揺病不快感の距離尺度化





付  
録(第5章)





## 車酔抑制を目指した車載 ディスプレイの開発 ー映像表示法の開発ー

朴 丹

三重大学大学院 博士前期課程  
情報工学専攻 人工知能研究室



乗り物酔い



発症原因

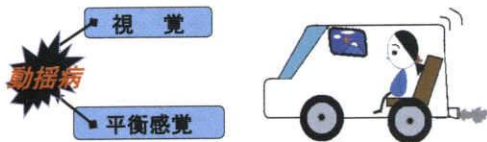
感覚矛盾説



背景

車載ディスプレイ増加

車酔発症増加



研究目的

車の動きを視覚に与える映像表示法

視覚と平衡感覚間の矛盾を減少

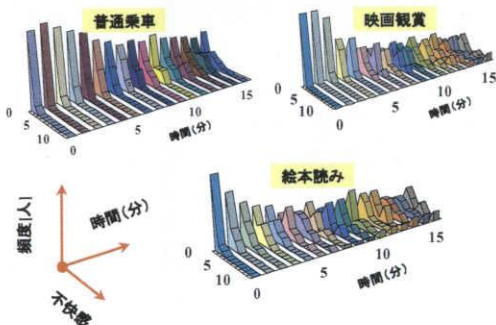
車酔抑制効果のあるディスプレイ開発

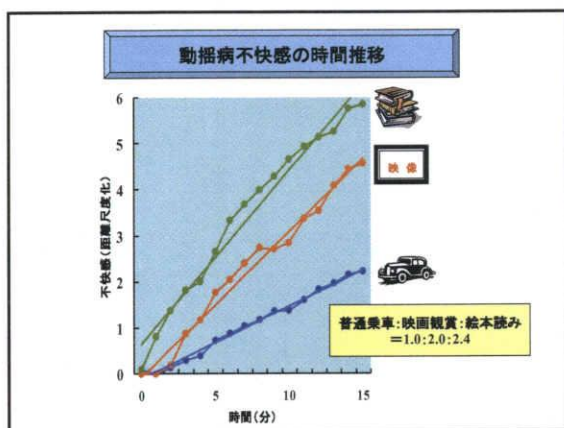
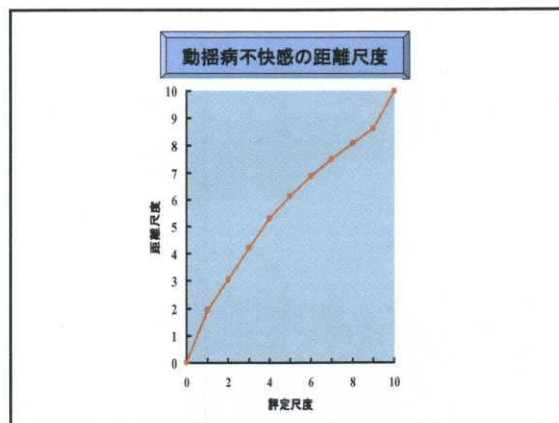
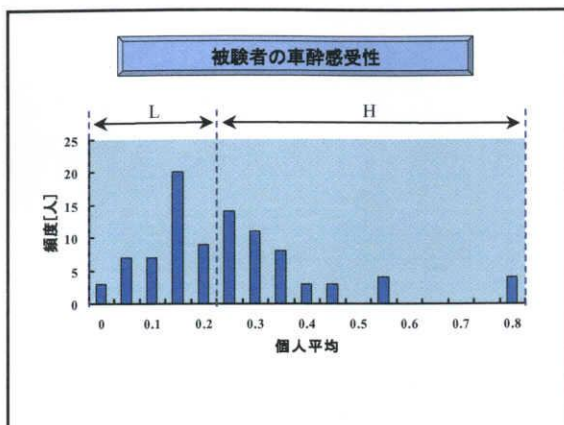
### 走行中の映画観賞による車酔の増強程度

- 被験者 : 男21名 女10名
- 走行経路 : カーブの多い坂道
- 乗車時間 : 15分
- 乗車条件 : 普通乗車  
映画観賞  
絵本読み
- 計測項目 : 動揺病不快感
- 不快感の評価手法 :  
評定尺度法  
0 (不快感なし) ~ 10 (受忍限界)
- 試行数 : 普通乗車 39回  
映画観賞 24回  
絵本読み 25回



### 動揺病不快感の推移





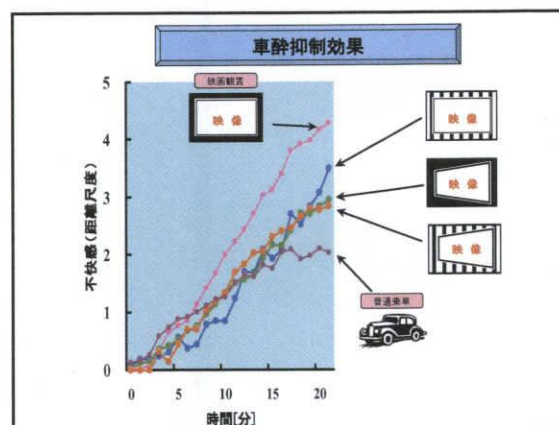
### 実験方法

- 被験者 : 男41名 女15名
- 走行経路 : カーブの多い坂道
- 乗車時間 : 21分
- 乗車条件 :
  - 普通乗車
  - 映画観賞
  - 対策案1 (縮小)
  - 対策案2 (台形)
  - 対策案3 (縮小+台形)
- 計測項目 : 動揺病不快感

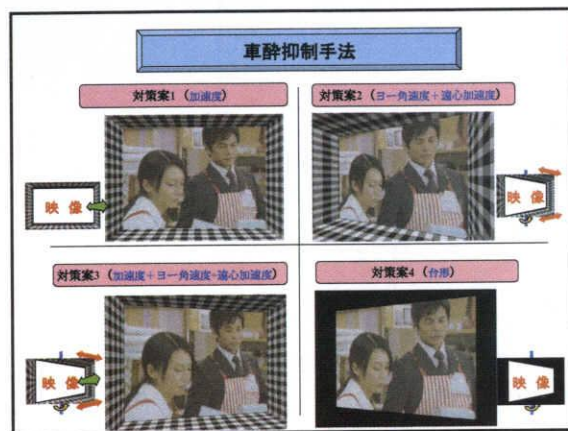
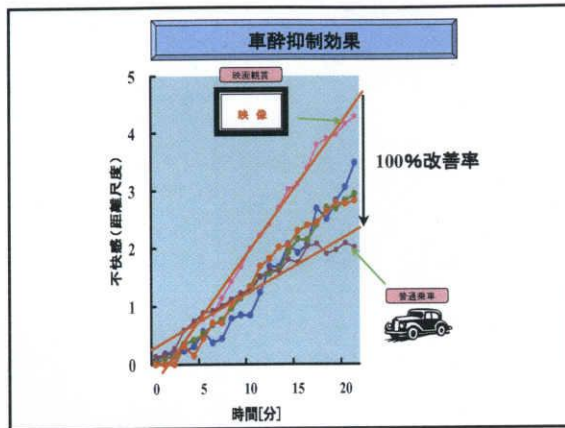
不快感の評価手法 : 評定尺度法  
0 (不快感なし) ~ 10 (受忍限界)

試行数 :

乗車条件	試行数
普通乗車	57
映画観賞	59
対策案1 (縮小)	25
対策案2 (台形)	69
対策案3 (縮小+台形)	23
合計	233







### 実験方法

- 被験者 : 男53名 女23名
- 走行経路 : カーブの多い坂道
- 乗車時間 : 21分
- 乗車条件 :
  - 普通乗車
  - 映画観賞
  - 対策案1 (ヨー回転+遠心力+加減速)
  - 対策案2 (加減速)
  - 対策案3 (ヨー回転+遠心力)
  - 対策案4 (ヨー回転)
- 計測項目 : 動揺病不快感

不快感の評価手法 : 評定尺度法  
0 (不快感なし) ~ 10 (受忍限界)

試行数 :

実験条件	試行数
普通乗車	44
映画観賞	49
対策案1 (ヨー回転+遠心力+加減速)	43
対策案2 (加減速)	41
対策案3 (ヨー回転+遠心力)	37
対策案4 (ヨー回転)	34
合計	248

