

## 視覚パターンを利用した知覚的車間距離の制御

原, 明紀夫 / HARA, Akio

---

(発行年 / Year)

2012-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2012-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

視覚パターンを利用した  
知覚的車間距離の制御

指導教員 平原誠

法政大学大学院工学研究科

システム工学専攻修士課程

原 明紀夫

---

# CONTROL OF PERCEPTUAL DISTANCE BETWEEN CARS USING VISUAL PATTERN

Akio Hara

A thesis submitted to  
The System Engineering Course of  
Hosei University Graduate School in  
Partial fulfillment of the requirements for  
the Degree of Master Engineering

---

March 2012

## 概要

本研究では、路面に視覚パターンを表示して知覚的車間距離を制御する事で、渋滞解消の補助となる対策を提案する。実験では、ドライブシミュレータを使用し、視覚パターンの違いが知覚的車間距離にどのような影響を及ぼすか検証した。検証の結果、路面に「上向き台形」を描くことで知覚的車間距離が近くに变化することが確認された。この効果を利用することで、車間距離を広げるよう促すことができ、渋滞解消の補助になると考えられる。また、変化を起こす主な要因は、運動残効であることが確認された。

## ABSTRACT

In this paper, I propose a means of solving traffic jams that involves the control of the perceptual distance between cars by drawing visual patterns on the road surface. By using a driving simulator, I demonstrate through experiments that visual patterns affect the perceptual distance between cars. The results confirm that the perceptual distance between cars changes to a “neighborhood” distance when “upward trapezoids” are drawn on the road. It is expected that the physical distance between cars will increase with decreasing perceptual distance between cars and that traffic jams could be resolved by using this method. In addition, I confirmed that the major factor influencing the perceptual distance between cars was the motion aftereffect.

## 目次

1.	序章	1
1.1	渋滞について	2
1.2	渋滞発生の原因と対策	2
2.	実験1	4
2.1	実験1概要	5
2.1.1	実験のねらい	5
2.1.2	実験環境	6
2.1.3	実験状況	6
2.1.4	視覚パターンについて	8
2.1.5	前方車両との車間距離について	9
2.1.6	実験の手順と測定方法	11
2.2	評価基準	12
2.3	結果	13
2.3.1	視覚パターン上向き台形	13
2.3.2	視覚パターン下向き台形	14
2.3.3	集計	16
2.3.4	検定	16
2.4	考察	17
3.	実験2	18
3.1	実験2概要	19
3.1.1	実験のねらい	19
3.1.2	実験環境	20
3.1.3	実験状況	20
3.1.4	視覚パターンについて	21
3.1.5	前方車両との車間距離について	22
3.1.6	実験の手順と測定方法	22
3.2	評価基準	23
3.3	結果	23
3.3.1	視覚パターン求心運動	23
3.3.2	視覚パターン遠心運動	25
3.3.3	視覚パターン基準運動	26
3.3.4	集計	28
3.3.5	検定	28
3.4	考察	30

4.	実験 3	3 1
4.1	実験 3 概要	3 2
4.1.1	実験のねらい	3 2
4.1.2	実験環境	3 2
4.1.3	実験状況	3 2
4.1.4	視覚パターンについて	3 2
4.1.5	前方車両との車間距離について	3 2
4.1.6	実験の手順と測定方法	3 2
4.2	評価基準	3 3
4.3	結果	3 3
4.3.1	視覚パターン求心運動	3 3
4.3.2	視覚パターン遠心運動	3 4
4.3.3	視覚パターン基準運動	3 6
4.3.4	集計	3 8
4.3.5	検定	3 8
4.4	考察	4 0
5.	考察	4 1
6.	総括	4 4
	謝辞	4 6
	参考文献	4 8

# 第 1 章 序論

# 1. 序論

## 1.1 渋滞について

高速道路では様々な原因で渋滞が発生する。その内、交通集中による渋滞が全体の68%を占めている(図1)。

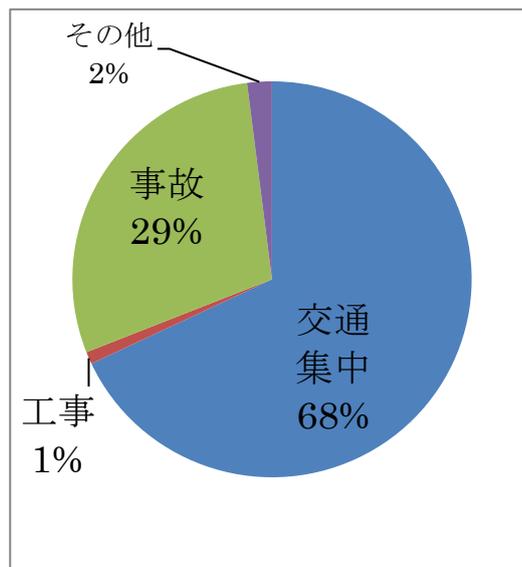


図1. 交通渋滞の原因

## 1.2 渋滞発生の原因と対策

高速道路での交通渋滞の多くは、車間距離を広く取ることで回避できることが分かっている<sup>[1]</sup>。具体的には、車間距離を70m以上に保つことで、交通渋滞は回避できる。

車間距離が狭い場合、前方車両が「アクセルをゆるめる」「ブレーキを踏む」などで減速を行った時、自車も「アクセルをゆるめる」「ブレーキを踏む」などの減速をしやすくなる。それに対して後続の車両は車間を十分にとろうと減速する。これが連鎖することで後方の多くの車両が低速になり、交通渋滞が発生する<sup>[2]</sup>。

従来対策では、電光掲示板(図2)や車間距離確認看板(図3)などを用いて速度回復を促している<sup>[3][4][5]</sup>。しかし、これらの対策には、運転手が看板や掲示板を見落とす可能性や、判断が運転手に委ねられ適切に利用されないなどの問題点があり、依然として解消には至っていない。



図 2. 電光掲示板



図 3. 車間距離確認看板

従来対策の問題点は、運転手の意志に依存していることではないかと考えられる。車間距離を広くとるかどうかは、運転手の意志によって決まっており、確実に車間距離を広くとらせられるわけではない。

これらの問題点を解消する為に、運転手の意志に依存せずに、車間距離を広げさせる仕掛けを作れないかと考えた。

具体的には、50m程度の車間距離を、体感的には30m～40mの車間距離に感じるよう錯覚させる視覚パターンを道路路面に描く事で車間距離を広くとるように促すというものである。

本研究では、路面に視覚パターンを表示し、知覚的車間距離を制御する新たな対策を提案する。

実験では、ドライブシミュレータを使用し、視覚パターンの違いが知覚的車間距離にどのような影響を及ぼすか検証する。なお、モニターは3Dディスプレイを使用し、画面には道路を走行する様子を3D立体視で呈示する。

## 第 2 章 実験 1

## 2. 実験 1

### 2.1 実験 1 概要

#### 2.1.1 実験のねらい

視覚パターンが知覚的車間距離に影響を及ぼすかどうかを検証する。

視覚パターンは、上向き台形と下向き台形の 2 条件用意し、路面に表示する。

この視覚パターンのうち、特に上向き台形については、知覚的車間距離に対して、相反する 2 つの効果が予想される。

#### (1) 線遠近法の効果

1 つ目の効果は、線遠近法の効果である。現実にも目の前にある物や風景は、目から遠く離れてゆくに従って、小さく収縮しているように見える。特に、道路や廊下などの、並行な直線が、消失点に向かって収束していくように見えるものを線遠近法という（図 4）。



図 4. 線遠近法

路面に上向き台形を描き、実際の水平線よりも内側に、線遠近法をイメージさせる線を描くことで、車間距離が実際よりも遠くなったと感じさせる効果があると考えられる（図 5）。

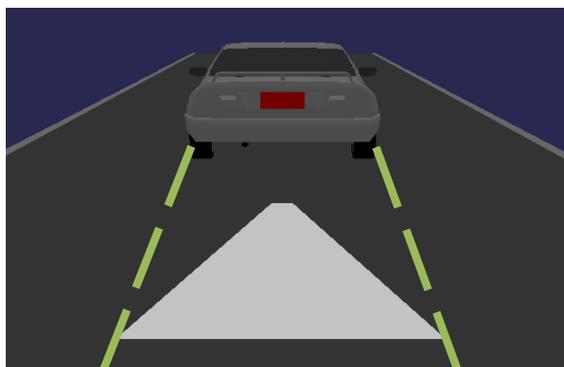


図 5. 視覚パターン例

つまり、線遠近法の観点からは知覚的車間距離が、上向き台形では遠くになると予想される。従って、下向き台形では反対に近くになると予想される。

## (2) 線遠近法の効果

2つ目の効果は、ポンズの錯視の効果である。

線遠近法のような1点に収束する2本の線上に、長さの等しい横線を上下に2本描いた場合、上部に描いた横線のほうが長く見える。これをポンズの錯視という(図6)。

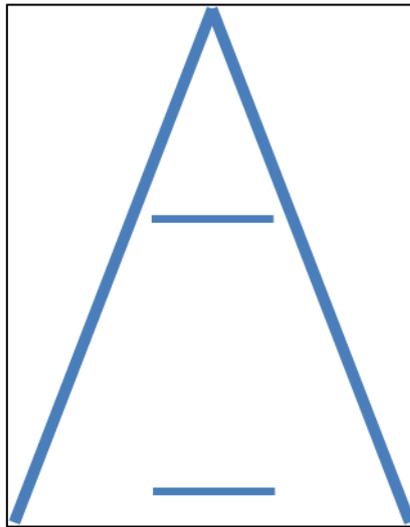


図6. ポンズの錯視

路面に上向き台形を描き、線遠近法をイメージさせることで、前方車両を実際よりも大きく感じさせ、車両が近づいてきたように見えさせる。結果、車間距離が近くなったと感じさせる効果があると考えられる(図5)。

つまり、ポンズ錯視の観点からは知覚的車間距離が、上向き台形では近くになると予想される。従って、下向き台形では反対に遠くになると予想される。

実験1では、上向き台形、下向き台形が知覚的車間距離に影響を及ぼすかどうか、また、影響がある場合、線遠近法、ポンズの錯視どちらの効果によるものなのかを調べる。

### 2.1.2 実験環境

使用機種 : Dell Studio XPS 8100

CPU : Intel(R) Core(TM) i7 CPU(2.80GHz)

ディスプレイ : acer GD245HQ

ディスプレイ周波数 : 120Hz

使用言語 : Visual C++ 2008 Express Edition

### 2.1.3 実験状況

実験はパソコンの3Dディスプレイ上で行う。道路を簡易的に表現した3のドライブシミュレータを作成し、用いる。実験画面には道路を走行する様子を呈示する。前方には車両を表示する。図7はパソコンのディスプレイ上に現れる、シミュレータの画面である。被験者はこの画面を見ながらキー入力をする。

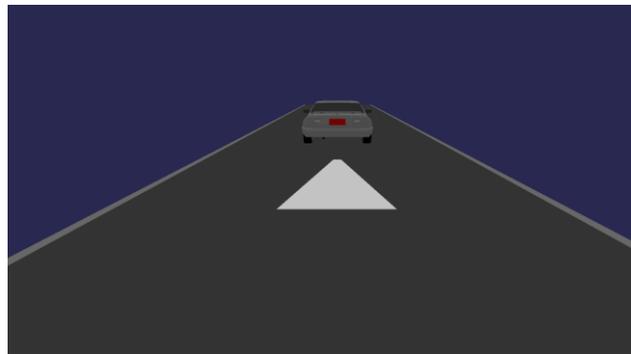


図7. 実験画面

シミュレータ画面(図7)は、縦290mm×横520mmの3Dディスプレイに呈示される。ディスプレイまでの視距離を762mmとし、垂直に両眼視する。視野角は $14.1^{\circ} \times 37.7^{\circ}$ となる。フレームレートは右眼60fps,左眼60fpsである。

被験者は正常（または補正による正常）な視力を持つ10名である。図8は実験の状況を示した図である。

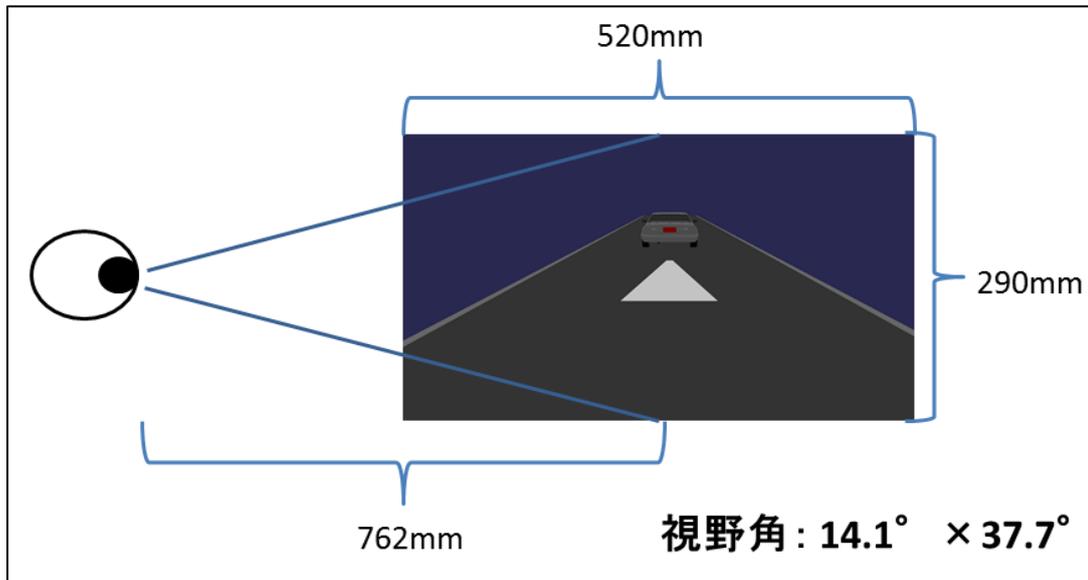


図8. 実験状況図

#### 2.1.4 視覚パターンについて

視覚パターンは、上向き台形と下向き台形の2条件とする（図9）。

それぞれの視覚パターンについて説明する。

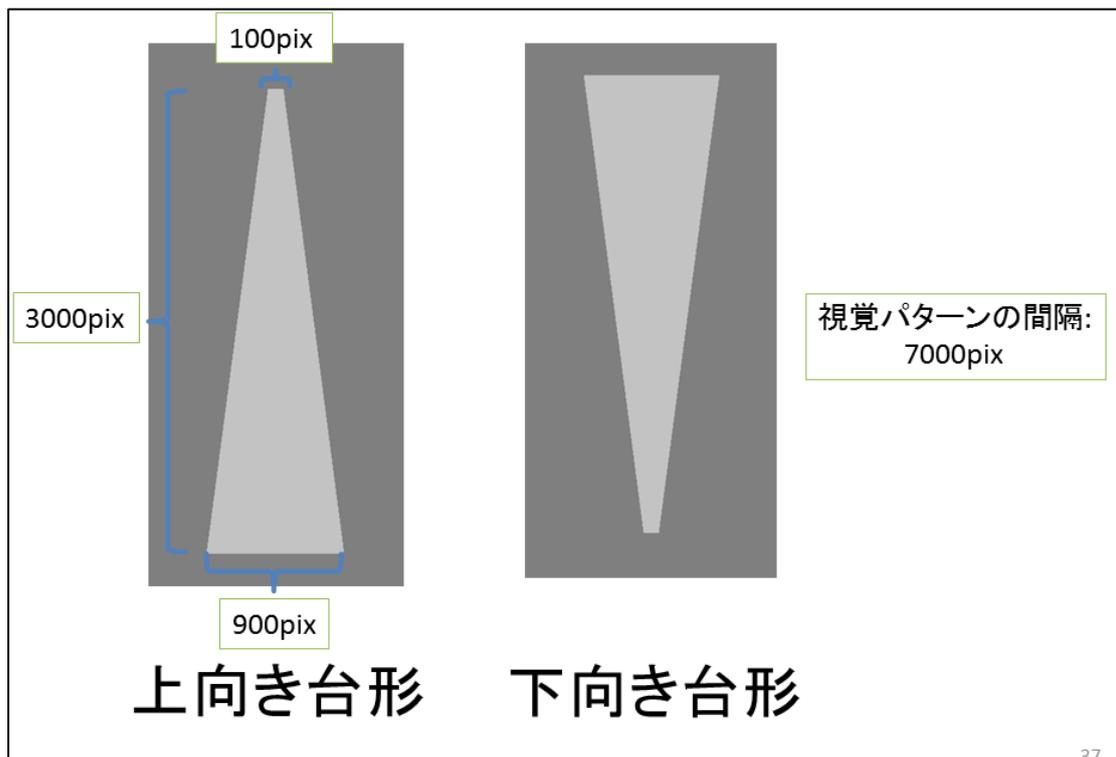


図9. 視覚パターン 上向き台形, 下向き台形

### (1) 上向き台形

上向き台形の視覚パターンとして、路面に上向き台形が等間隔で描かれた道路を用意する。この上向き台形は、上辺が100pix, 下辺が900pix, 高さが3000pix で描かれている(図9)。この視覚パターンを以後、上向き台形と表記する。

背景には、視覚パターンの違いによる効果のみを見るため、通常の道路に見られるポールや道路壁面などはない。

### (2) 下向き台形

下向き台形の視覚パターンとして、路面に下向き台形が等間隔で描かれた道路を用意する。この下向き台形は、上辺が900pix, 下辺が100pix, 高さが3000pix で描かれている(図9)。この視覚パターンを以後、下向き台形と表記する。

背景は、上向き台形と同様である。

## 2.1.5 前方車両との車間距離について

前方車両との車間距離は30m, 50m, 70mの3条件とする。

### (1) 30m

車間距離30mとして、被験者から前方車両までの距離が30mに見えるよう設定した条件を用意する。図10は車間距離を30mに設定した時のシミュレータ画面である。この実験条件を以後、30mと表記する。



図10. 車間距離 30m

(2) 50 m

車間距離50 mとして、被験者から前方車両までの距離が50 mに見えるよう設定した条件を用意する。図11 車間距離を50 mに設定した時のシミュレータ画面である。この実験条件を以後、50 mと表記する。

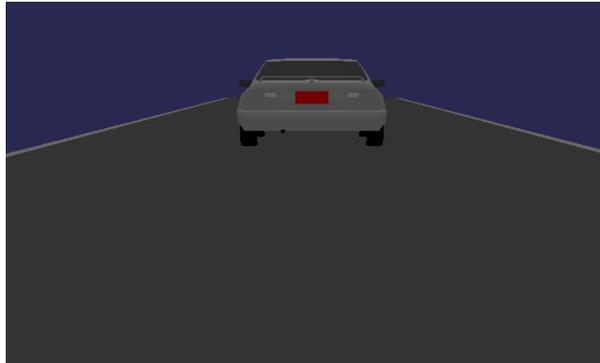


図11. 車間距離 50 m

(3) 70 m

車間距離70 mとして、被験者から前方車両までの距離が70 mに見えるよう設定した条件を用意する。図12は車間距離を70 mに設定した時のシミュレータ画面である。この実験条件を以後、70 mと表記する。

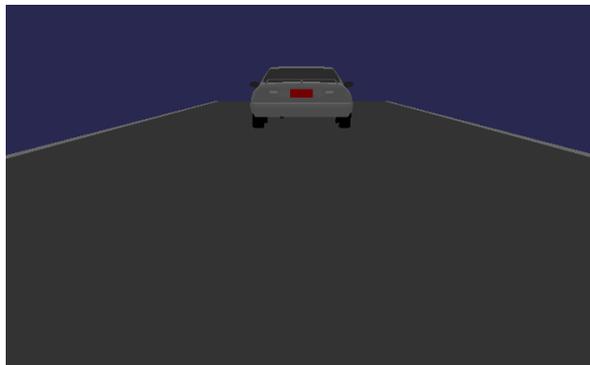


図12. 車間距離 70 m

### 2.1.6 実験の手順と測定方法

実験の手順と測定方法に関して説明する。

実験は、視覚パターン2条件と、車間距離3条件を組み合わせ、合計6条件となる。

図13はコース図の例（視覚パターン上向き台形）を表したものである。

実験では、まず等速自動走行の様子を60秒間呈示する。続いて、テスト区間として等速自動走行の様子を180秒間呈示する。

試行中は、視覚パターンと車間距離は一定である。

被験者（10名）には、テスト区間での知覚的車間距離の変化について、30秒ごと計6回、反応に対応するキーを入力してもらう。反応は車間距離が「遠くなった」「変化なし」「近くなった」の3択とする。テスト区間、キー入力のタイミングは音を鳴らして被験者に知らせる。

例) 視覚パターン上向き台形

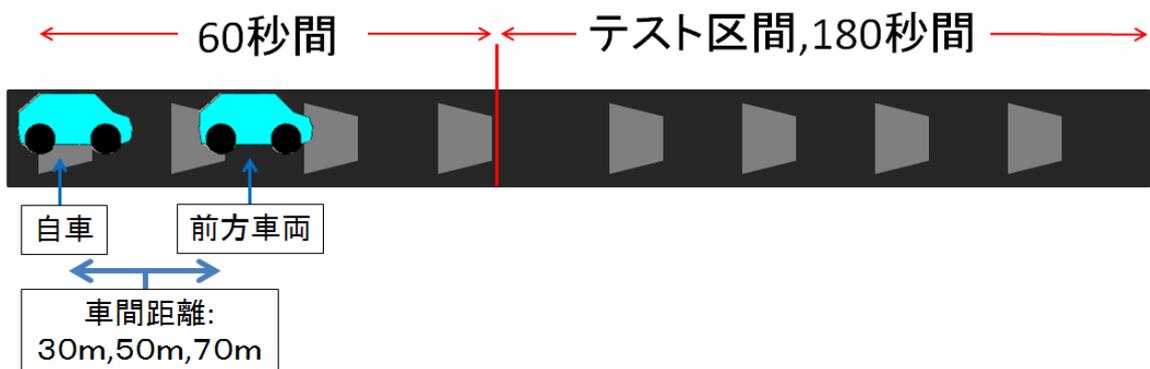


図13. コース図の例（視覚パターン上向き台形）

## 2. 2 評価基準

計6回の反応を集計し, 車間距離毎に検定を行う. 検定にはカイ二乗検定を用いた.

## 2. 3 結果

### 2.3.1 視覚パターン上向き台形

図14, 15, 16は車間距離30m, 50m, 70mそれぞれでの視覚パターン上向き台形での反応の分布を示す(被験者10名分). 横軸は反応, 縦軸は反応回数である. それぞれの線は被験者10人(A~J)の反応のグラフである.

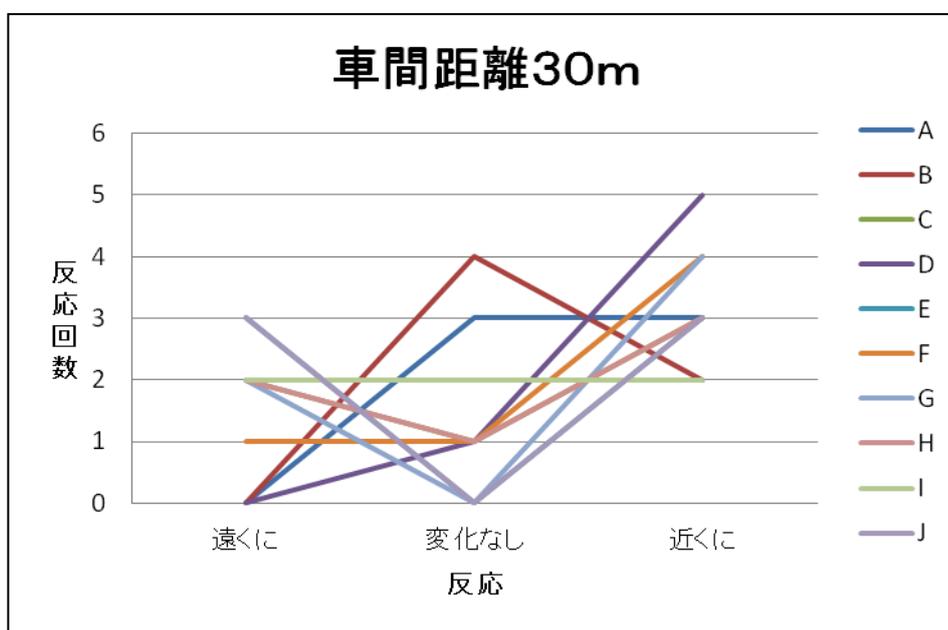


図14. 実験1 車間距離30m, 視覚パターン上向きでの反応の分布

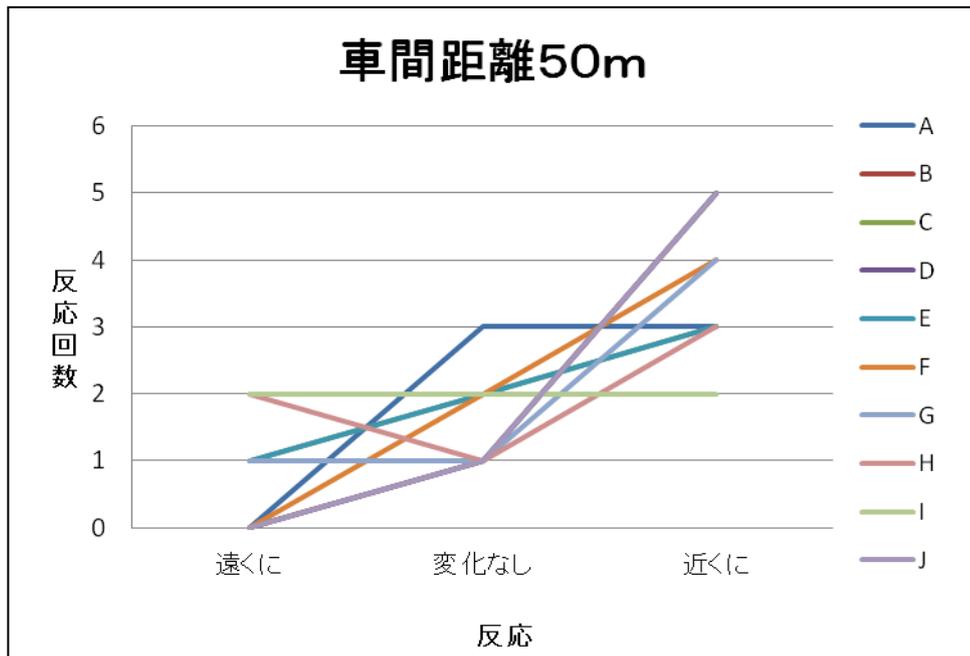


図 1 5. 実験 1 車間距離 5 0 m, 視覚パターン上向きでの反応の分布

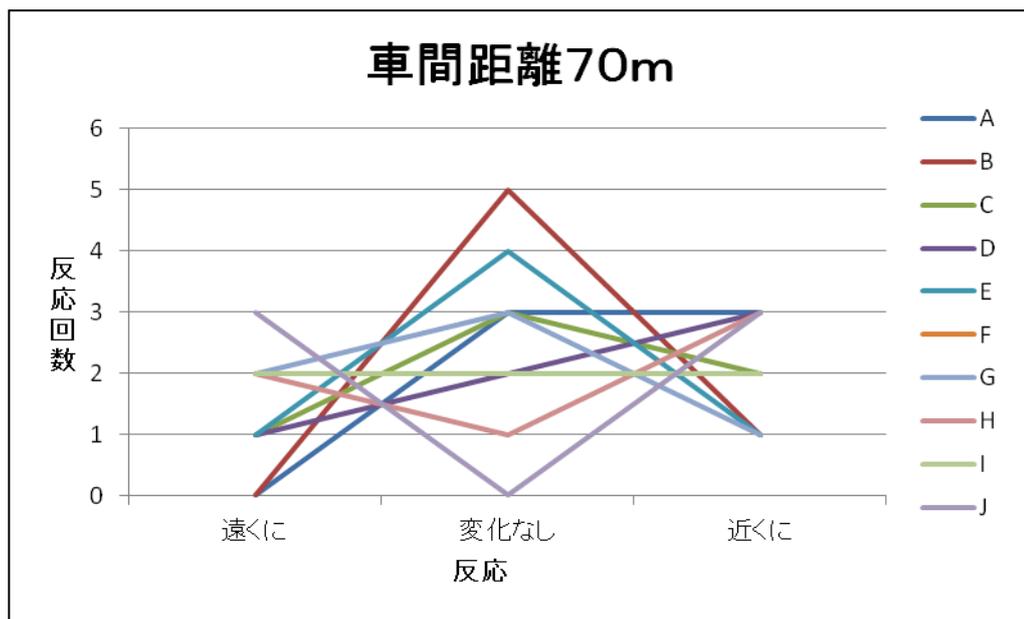


図 1 6. 実験 1 車間距離 7 0 m, 視覚パターン上向きでの反応の分布

この分布から車間距離 3 0 m, 5 0 m, 視覚パターン上向き台形では, 知覚的車間距離が近くに变化する傾向が確認できた. また, 車間距離 7 0 m, 視覚パターン上向き台形では, 知覚的車間距離の变化の傾向は確認できなかった.

### 2.3.2 視覚パターン下向き台形

図17, 18, 19は車間距離30m, 50m, 70mそれぞれでの視覚パターン下向き台形での反応の分布を示す(被験者10名分)。横軸は反応, 縦軸は反応回数である。それぞれの線は被験者10人(A~J)の反応のグラフである。

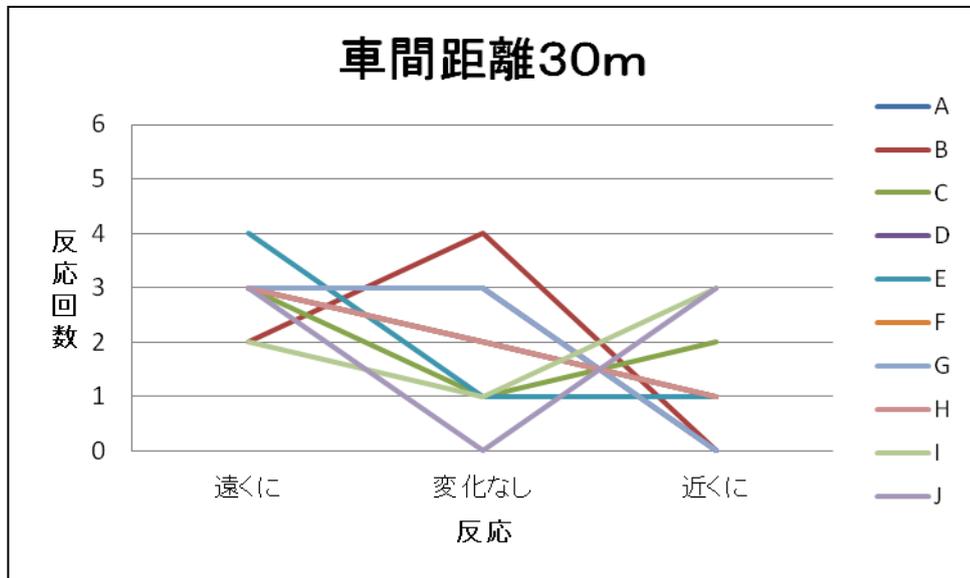


図17. 実験1 車間距離30m, 視覚パターン下向きでの反応の分布

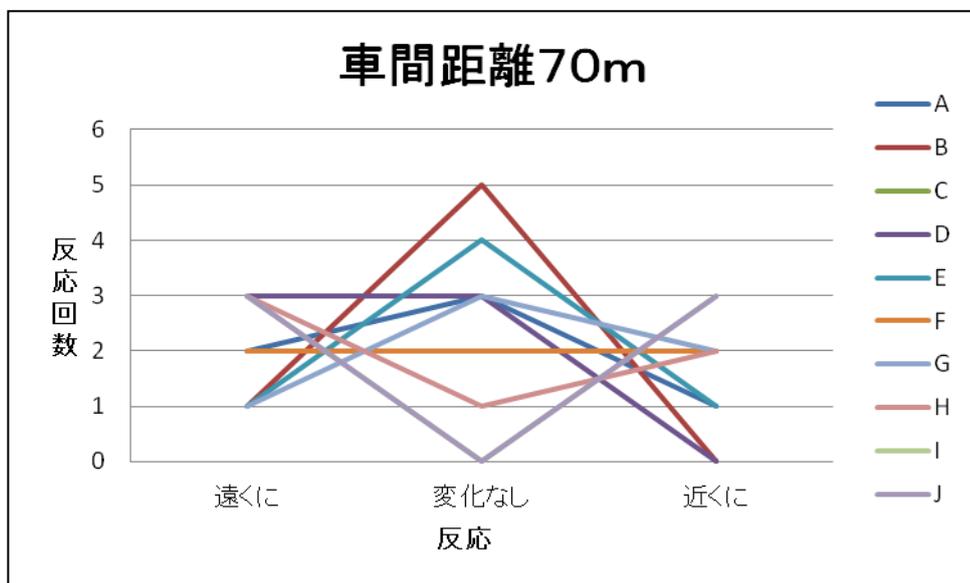


図18. 実験1 車間距離50m, 視覚パターン下向きでの反応の分布

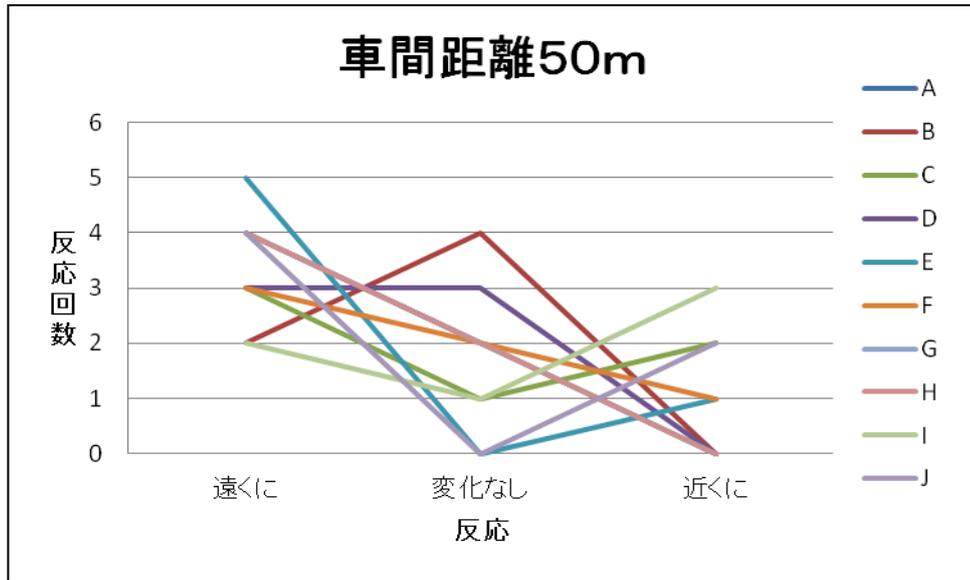


図 1 9. 実験 1 車間距離 7 0 m, 視覚パターン下向きでの反応の分布

この分布から車間距離 3 0 m, 5 0 m, 視覚パターン下向き台形では, 知覚的車間距離が遠くに変化する傾向が確認できた。また, 車間距離 7 0 m, 視覚パターン下向き台形では, 知覚的車間距離の変化の傾向は確認できなかった。

### 2.3.3 集計

車間距離（30 m, 50 m, 70 m）それぞれで、視覚パターン毎（上向き台形, 下向き台形）に反応を集計する。表1は全被験者の反応を集計した結果を示す。

表1. 車間距離それぞれでの、視覚パターン毎の反応

車間距離	視覚パターン	反応: 遠くに	反応: 無し	反応: 近くに
30 m	上向き台形	15	13	32
	下向き台形	29	19	12
50 m	上向き台形	7	16	37
	下向き台形	34	17	9
70 m	上向き台形	14	25	21
	下向き台形	21	23	16

### 2.3.4 検定

#### ・検定方法

車間距離毎に視覚パターン間での有意差の有無に関してカイ二乗検定を行う。本研究ではボンフェローニ法を採用するため、検定全体の有意水準5%を検定数で割った有意水準を使う。

#### ・検定結果

表2は、車間距離（30 m, 50 m, 70 m）毎の視覚パターン（上向き台形, 下向き台形）間での検定の結果である。

検定の結果、視覚パターン上向き台形と下向き台形共に、車間距離30 m, 50 mでは視覚パターン間で有意差が確認できた。しかし、車間距離70 mでは有意差が確認できなかった。

表2. 車間距離毎の視覚パターン間での検定結果

	カイ二乗値	自由度	p 値
30m:上向き台形-30m:下向き台形	14.670	2	0.001
50m:上向き台形-50m:下向き台形	38.854	2	0.000
70m:上向き台形-70m:下向き台形	2.861	2	20.239

## 2. 4 考察

実験1の車間距離30m, 50mでの知覚的車間距離は, 上向き台形では近くに, 下向き台形では遠くに変化する傾向が確認できた.

しかし, 車間距離70mでは視覚パターン毎の傾向も見られず, 知覚的車間距離への影響は確認できなかった.

ここで, 実験1での知覚的車間距離への影響の要因について考察する.

台形の効果として, 線遠近法の効果とポンゾの錯視の効果の2つを予想していた. 視覚パターンが上向き台形の場合, 線遠近法の効果では知覚的車間距離が遠くに変化すると予想していた. ポンゾの錯視の効果では知覚的車間距離が近くに変化すると予想していた.

集計と検定の結果, 視覚パターン上向き台形は, 知覚的車間距離を近くに変化させる傾向があると分かった.

ここから, 実験1では, ポンゾの錯視の効果が線遠近法の効果よりも強く出たと考えられる. また, 車間距離の違いにより, 知覚的車間距離への影響に差が出たと考えられる.

## 第 3 章 実験 2

## 3. 実験 2

### 3.1 実験 2 概要

#### 3.1.1 実験のねらい

実験 1 では、視覚パターンを静的な刺激として捉え効果を考えた。しかし、実際の走行では、視覚パターンは常に動いて見えており、動きを加味して効果を考える必要がある。そこで、実験 2 では視覚パターンを動的な刺激として捉え実験を行う。

ここでは、上向き台形、下向き台形の車両直下での見え方に注目した。

上向き台形では、車両直下限定の視覚パターンは徐々に横幅が縮むように見える。これを「求心運動」と呼ぶ（図 2 0）。

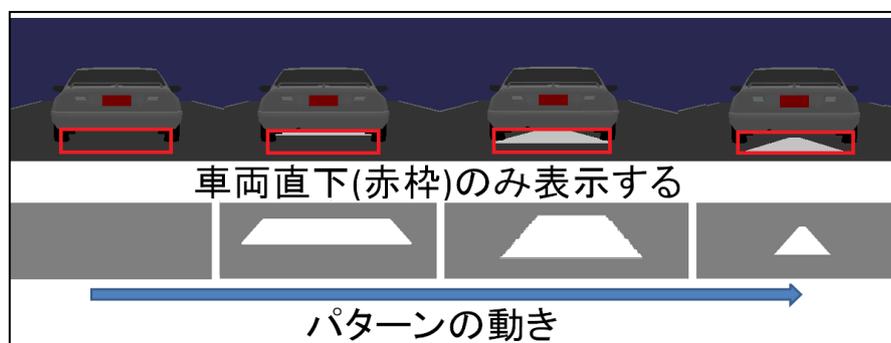


図 2 0. 求心運動

下向き台形では、車両直下限定の視覚パターンは徐々に横幅が伸びるように見える。これを「遠心運動」と呼ぶ（図 2 1）。

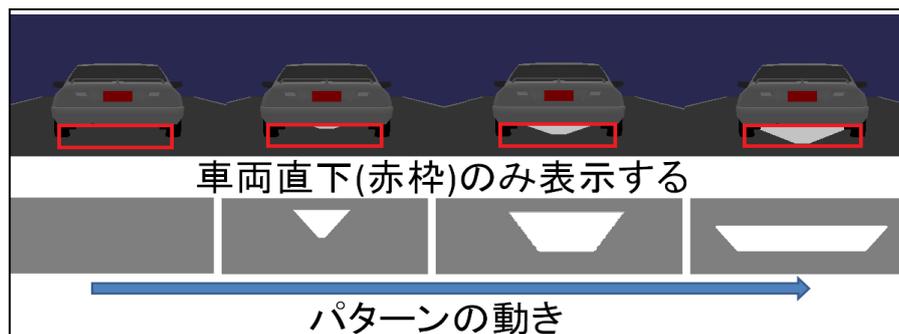


図 2 1. 遠心運動

一定方向へ動き続ける対象を観察し続け、順応した後に静止している対象を見ると、逆方向に動いているように見える。この現象を運動残効という。

この運動残効の観点から考えると、求心運動に順応した場合には、前方車両が求心運動とは反対方向に動くように錯覚させ、実際よりも膨張して感じると予想される。つまり、車両が近づいてきたように見させ、車間距離が近くなったように感じさせる効果がある。

と予想される. 遠心運動ではその反対であると予想される.

つまり, 運動残効の観点からは知覚的車間距離が, 求心運動では近くに, 遠心運動では遠くになると予想される.

ポンゾの錯視と運動残効は, 知覚的車間距離に対して, 同様の効果を及ぼすと考えられる.

実験 2 ではポンゾの錯視と運動残効を切り離すことで, どちらの効果によるものなのかを調べる.

そのため, ポンゾの錯視の効果を減らし実験を行う. ポンゾの錯視は, 線遠近法のような 1 点に収束する 2 本の線が描かれている時に起こる. そこで, 車両直下限定でパターンを表示することで, 1 点に収束する 2 本の線が見える部分を一部分のみにし, ポンゾの錯視の効果を減らす.

### 3.1.2 実験環境

実験 1 と同様である.

### 3.1.3 実験状況

実験 1 と同様である.

### 3.1.4 視覚パターンについて

視覚パターンは、求心運動, 遠心運動に基準運動を加えた3条件とし, 注視点である前方車両の直下のみ限定で表示する(図20, 図21).

検定の際に比較をするために, 視覚パターンの基準として長方形を用意する.

長方形の視覚パターンとして, 路面に長方形が等間隔で描かれた道路を用意する. この長方形は, 横が900pix, 高さが3000pixで描かれている(図22).

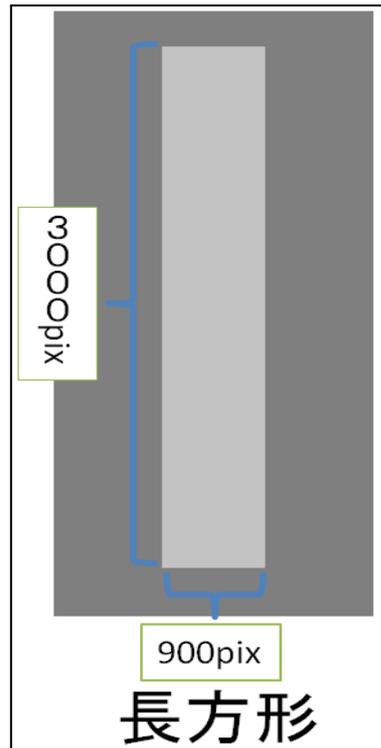


図22. 実験2 視覚パターン長方形

また, 車両直下に注目した時, 長方形では視覚パターンの横幅は変化しない. これを, 「基準運動」と呼ぶ(図23).

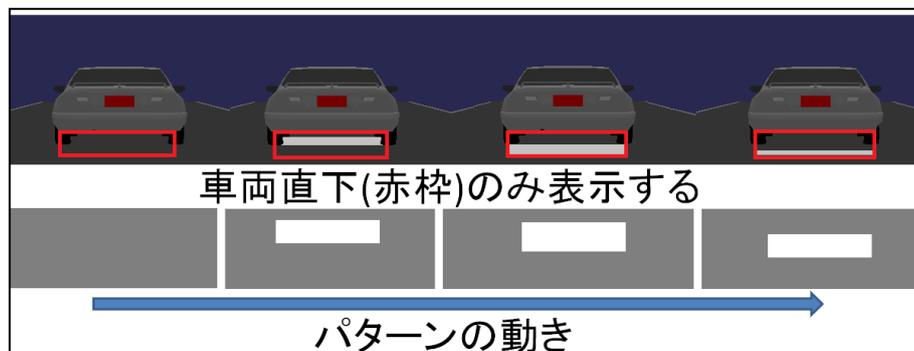


図23. 基準運動

### 3.1.5 前方車両との車間距離について

前方車両との車間距離については、実験1と同様で、30m 50m 70mの3条件を用意した。

### 3.1.6 実験の手順と測定方法

実験の手順と測定方法に関して説明する。

実験は、視覚パターン3条件と、車間距離3条件を組み合わせた、合計9条件となる。

他は実験1と同様である。

### 3. 2 評価基準

計6回の反応を集計し,車間距離毎に検定を行う. 検定にはカイ二乗検定を用いた.

### 3. 3 結果

#### 3.3.1 視覚パターン求心運動

図24, 25, 26は車間距離30m, 50m, 70mそれぞれでの視覚パターン求心運動での反応の分布を示す(被験者10名分). 横軸は反応, 縦軸は反応回数である. それぞれの線は被験者10人(A~J)の反応のグラフである.

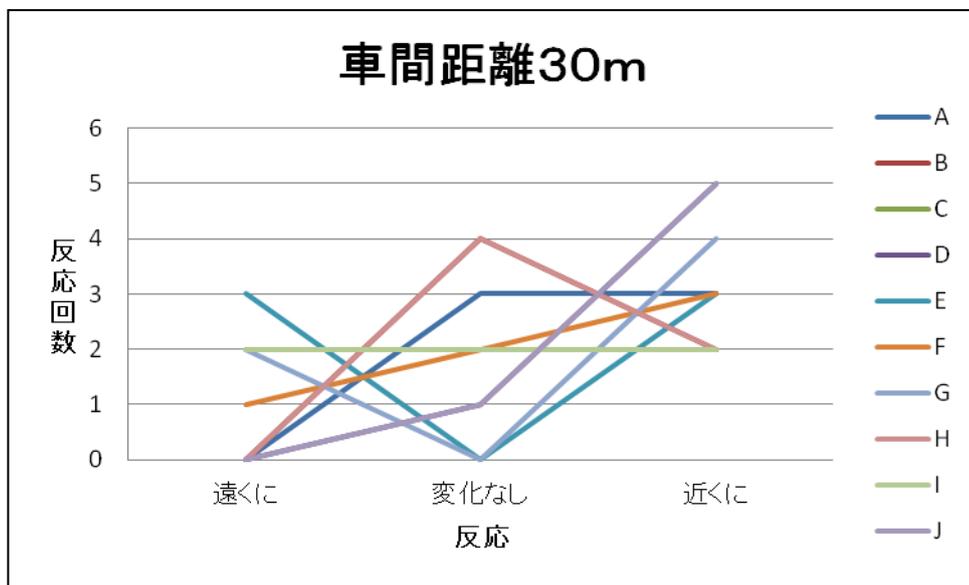


図24. 実験2 車間距離30m, 視覚パターン求心運動での反応の分布

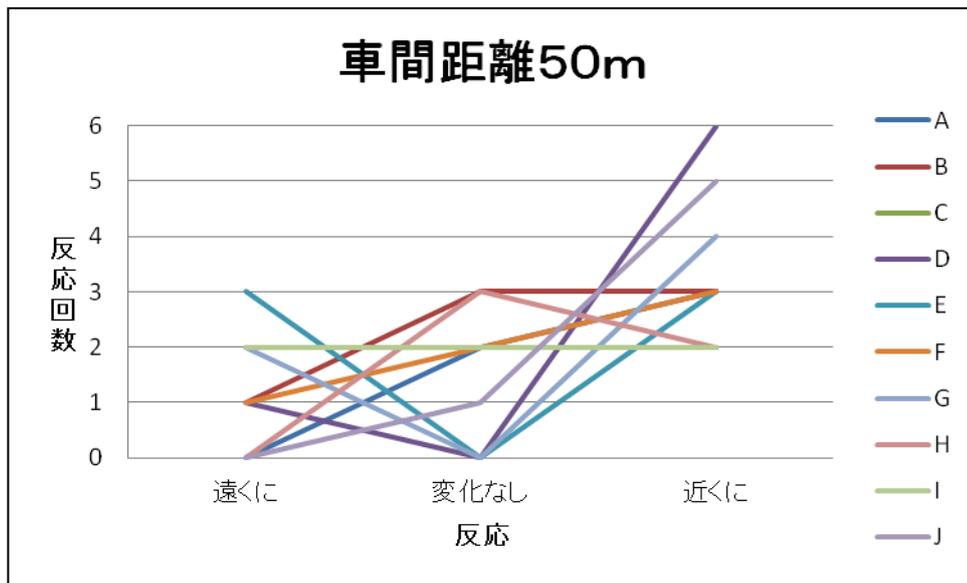


図 2 5. 実験 2 車間距離 5 0 m, 視覚パターン求心運動での反応の分布

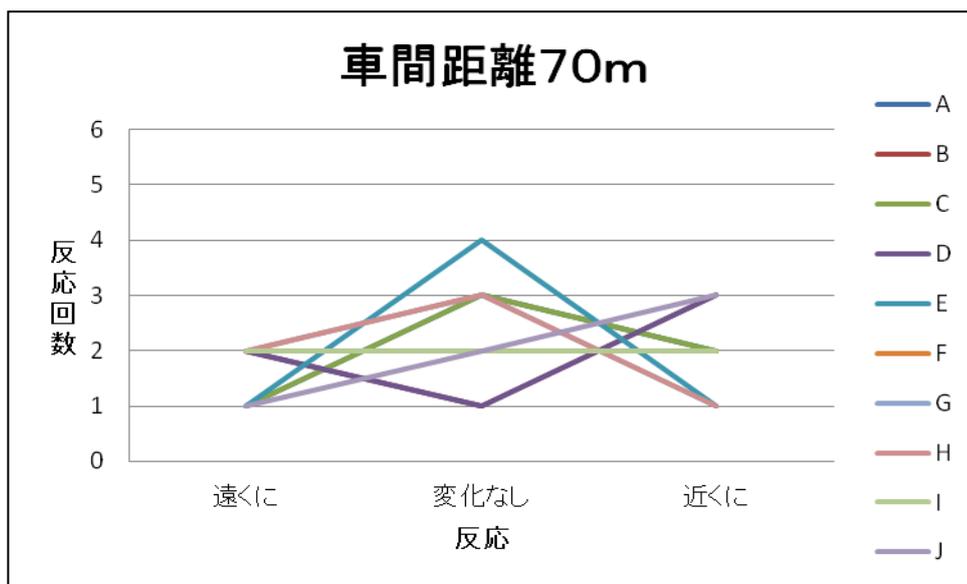


図 2 6. 実験 2 車間距離 7 0 m, 視覚パターン求心運動での反応の分布

この分布から車間距離 3 0 m, 5 0 m, 視覚パターン求心運動では, 知覚的車間距離が近くに变化する傾向が確認できた. また, 車間距離 7 0 m, 視覚パターン求心運動では, 知覚的車間距離の变化の傾向は確認できなかった.

### 3.3.2 視覚パターン遠心運動

図27, 28, 29は車間距離30m, 50m, 70mそれぞれでの視覚パターン遠心運動での反応の分布を示す(被験者10名分)。横軸は反応, 縦軸は反応回数である。それぞれの線は被験者10人(A~J)の反応のグラフである。

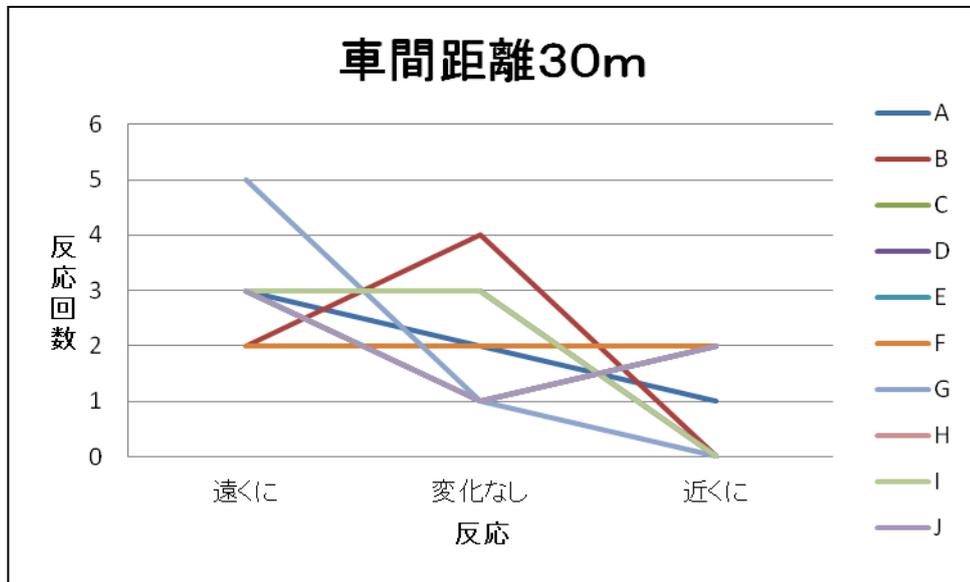


図27. 実験2 車間距離30m, 視覚パターン遠心運動での反応の分布

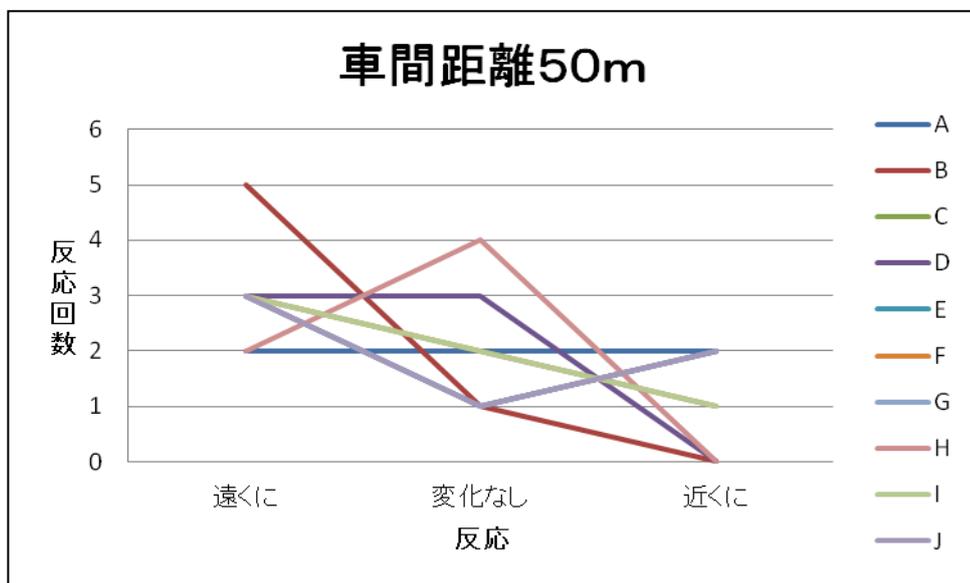


図28. 実験2 車間距離50m, 視覚パターン遠心運動での反応の分布

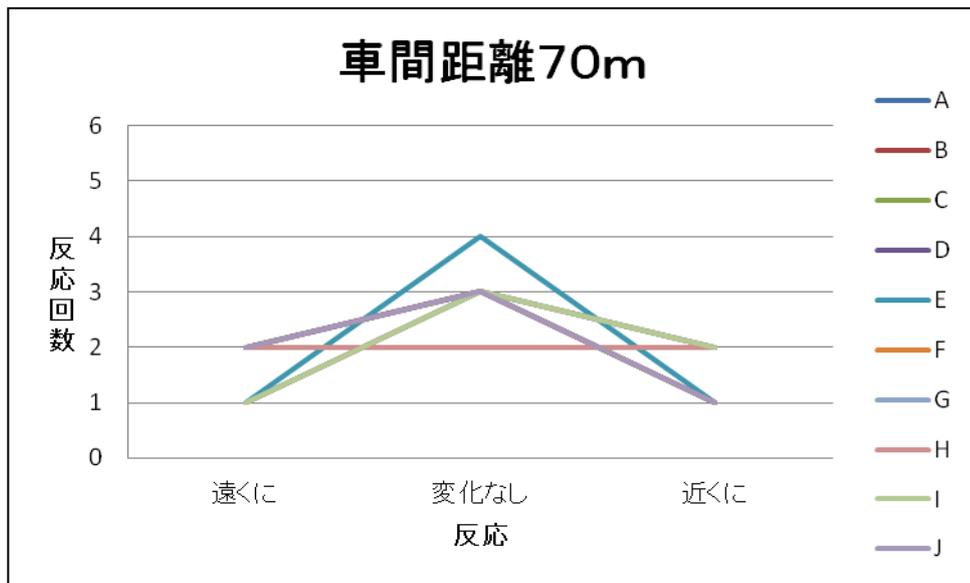


図 2 9 . 実験 2 車間距離 7 0 m, 視覚パターン遠心運動での反応の分布

この分布から車間距離 3 0 m, 5 0 m, 視覚パターン遠心運動では, 知覚的車間距離が遠くに变化する傾向が確認できた. また, 車間距離 7 0 m, 視覚パターン遠心運動では, 知覚的車間距離の变化の傾向は確認できなかった.

### 3. 3. 3 視覚パターン基準運動

図 3 0, 3 1, 3 2 は車間距離 3 0 m, 5 0 m, 7 0 m それぞれでの視覚パターン基準運動での反応の分布を示す(被験者 1 0 名分). 横軸は反応, 縦軸は反応回数である. それぞれの線は被験者 1 0 人 (A~J) の反応のグラフである.

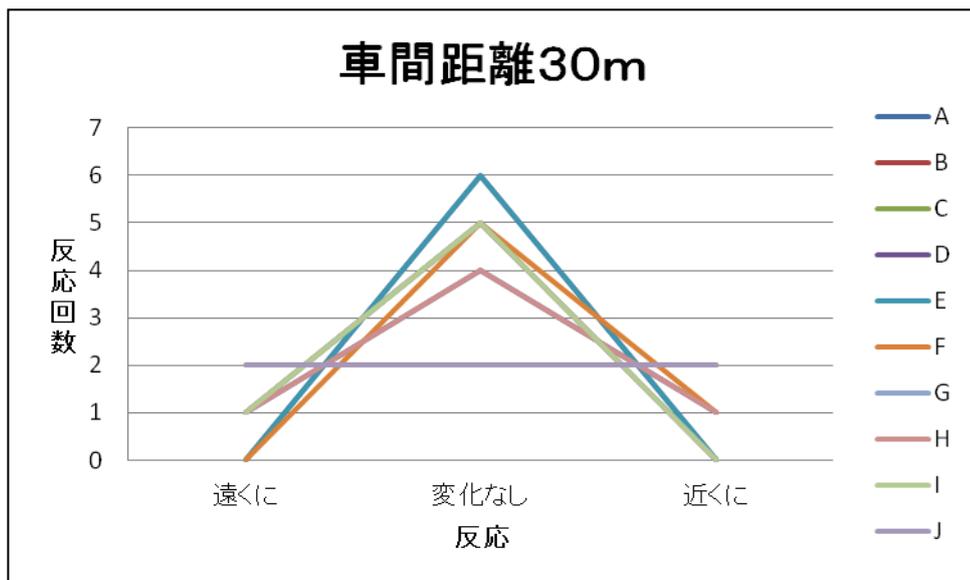


図 3 0 . 実験 2 車間距離 3 0 m, 視覚パターン基準運動での反応の分布

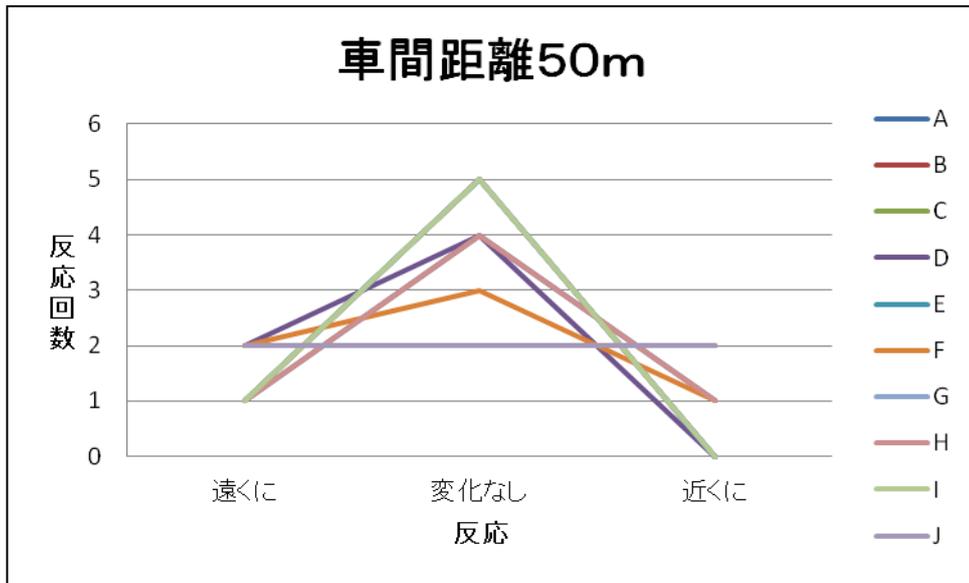


図 3 1. 実験 2 車間距離 5 0 m, 視覚パターン基準運動での反応の分布

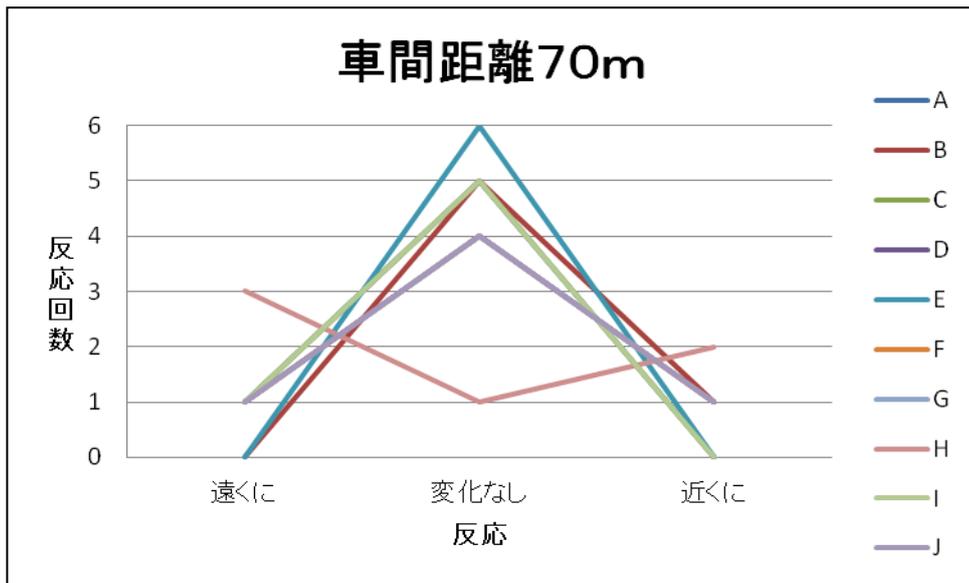


図 3 2. 実験 2 車間距離 7 0 m, 視覚パターン基準運動での反応の分布

この分布から車間距離 3 0 m, 5 0 m, 7 0 m, 視覚パターン基準運動では, 知覚的  
車間距離の変化の傾向は確認できなかった.

### 3.3.4 集計

車間距離（30 m, 50 m, 70 m）それぞれで、視覚パターン（求心運動, 基準運動, 遠心運動）毎に反応を集計する。表3は全被験者の反応を集計した結果を示す。

表3. 車間距離それぞれでの、視覚パターン毎の反応

車間距離	視覚パターン	反応： 遠くに	反応： 無し	反応： 近くに
30 m	求心運動	14	14	32
	基準運動	9	44	7
	遠心運動	29	21	10
50 m	求心運動	12	15	33
	基準運動	14	39	7
	遠心運動	30	18	12
70 m	求心運動	12	33	15
	基準運動	4	51	5
	遠心運動	16	34	10

### 3.3.5 検定

#### ・検定方法

車間距離毎に視覚パターン間での有意差の有無に関してカイ二乗検定を行う。本研究ではボンフェローニ法を採用するため、検定全体の有意水準5%を検定数で割った有意水準を使う。

#### ・検定結果

表4, 5, 6はそれぞれ、車間距離30 m, 50 m, 70 mの視覚パターン（求心運動, 基準運動, 遠心運動）間での検定の結果である。

検定の結果、視覚パターン求心運動と遠心運動共に、車間距離30 m, 50 mでは視覚パターン間で有意差が確認できた。しかし、車間距離70 mでは有意差が確認できなかった。

表 4. 車間距離 30 m における視覚パターン間での検定結果

	カイ二乗値	自由度	p 値
30m: 求心運動-30m: 基準運動	32.630	2	0.000
30m: 基準運動-30m: 遠心運動	19.194	2	0.000
30m: 求心運動-30m: 遠心運動	18.156	2	0.000

表 5. 車間距離 50 m における視覚パターン間での検定結果

	カイ二乗値	自由度	p 値
50m: 求心運動-50m: 基準運動	27.721	2	0.000
50m: 基準運動-50m: 遠心運動	14.871	2	0.001
50m: 求心運動-50m: 遠心運動	17.787	2	0.000

表 6. 車間距離 70 m における視覚パターン間での検定結果

	カイ二乗値	自由度	p 値
70m: 求心運動-70m: 基準運動	12.857	2	0.080
70m: 基準運動-70m: 遠心運動	12.267	2	0.150
70m: 求心運動-70m: 遠心運動	1.586	2	0.452

### 3. 4 考察

実験2の車間距離30m, 50mでの知覚的車間距離は, 求心運動では近くに, 基準運動では変化なし, 遠心運動では遠くに変化する傾向が確認できた.

しかし, 車間距離70mでは視覚パターン毎の傾向も見られず, 知覚的車間距離への影響は確認できなかった.

ここで, 実験2での知覚的車間距離への影響の要因について考察する.

実験2は, 実験1からポンゾの錯視の効果を減らしたものである. ポンゾの錯視の効果を減らして実験を行い, 実験1と同様の効果が出た場合, 知覚的車間距離に影響を与える主な要因はポンゾの錯視ではなく運動残効だと考えられる.

集計と検定の結果, 視覚パターン求心運動は知覚的車間距離を近くに, 遠心運動は知覚的車間距離を遠くに変化させる傾向があると分かった.

ここから, 知覚的車間距離の変化では, 運動残効がポンゾの錯視の効果よりも強く出たと考えられる.

次に, 車間距離の違いにより, 知覚的車間距離への影響に差が出た事について考察する.

車間距離が遠い場合, 遠くになればなる程前方車両の網膜に映る像の大きさが小さくなる. そして, 車両直下の視覚パターンの動きによる運動残効も小さくなると予想される. そのため, 車間距離70mでは, 知覚的車間距離に変化がなかったと考えられる.

ここからも, 実験2での影響は運動残効によって起きたのではないかと考えられる.

## 第4章 実験3

## 4. 実験3

### 4.1 実験3概要

#### 4.1.1 実験のねらい

実験2から、知覚的車間距離が変化する主な要因は、運動残効であると考えられる。そこで、実験3では、運動残効のみでも影響が出るのかどうかを調べるため、ポンズの錯視の効果を無くし実験を行う。

#### 4.1.2 実験環境

実験1と同様である。

#### 4.1.3 実験状況

実験1と同様である。

#### 4.1.4 視覚パターンについて

視覚パターンは、求心運動、遠心運動、基準運動の3条件とする。また、車両直下のみ限定で表示する際、被験者から見て、パターンが長方形になるようにする（図33）。他は、実験2と同様である。

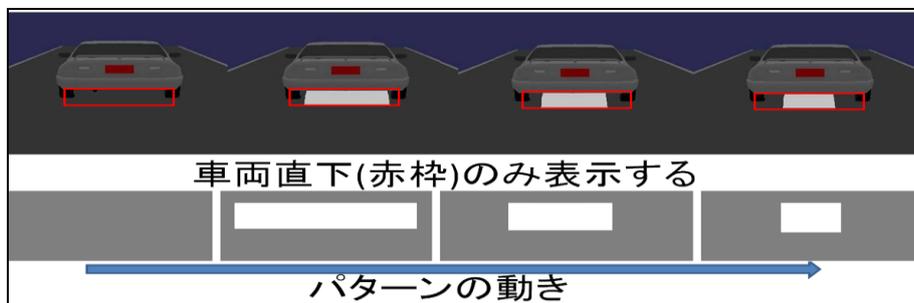


図33. 実験3視覚パターン

#### 4.1.5 前方車両との車間距離について

前方車両との車間距離については、実験1と同様で、30m 50m 70mの3条件を用意した。

#### 4.1.6 実験の手順と測定方法

実験の手順と測定方法に関して説明する。

実験は、視覚パターン3条件と、車間距離3条件を組み合わせた、合計9条件となる。

他は実験1と同様である。

#### 4. 2 評価基準

計6回の反応を集計し、車間距離毎に検定を行う。検定にはカイ二乗検定を用いた。

#### 4. 3 結果

##### 4.3.1 視覚パターン求心運動

図34, 35, 36は車間距離30m, 50m, 70mそれぞれでの視覚パターン求心運動での反応の分布を示す(被験者10名分)。横軸は反応, 縦軸は反応回数である。それぞれの線は被験者10人(A~J)の反応のグラフである。

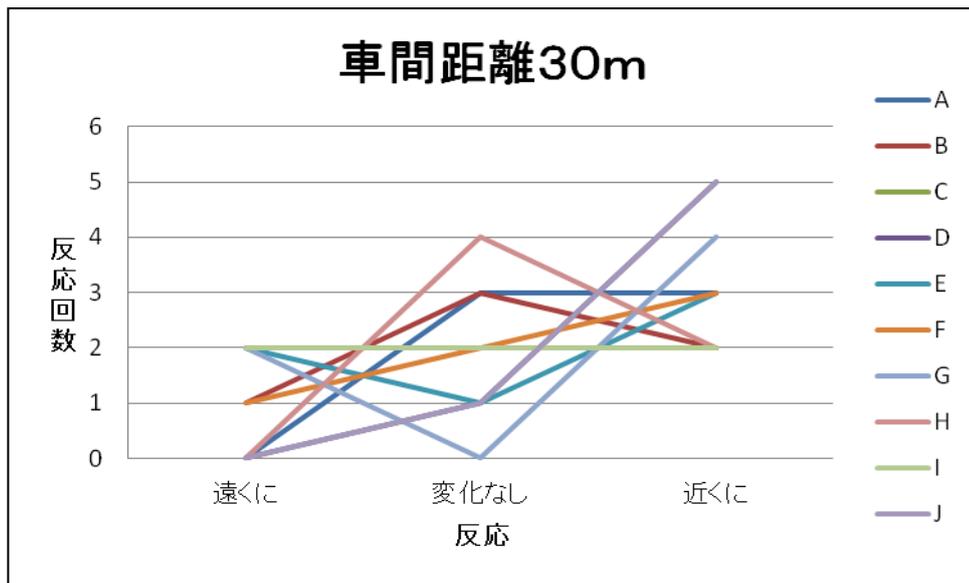


図34. 実験3 車間距離30m, 視覚パターン求心運動での反応の分布

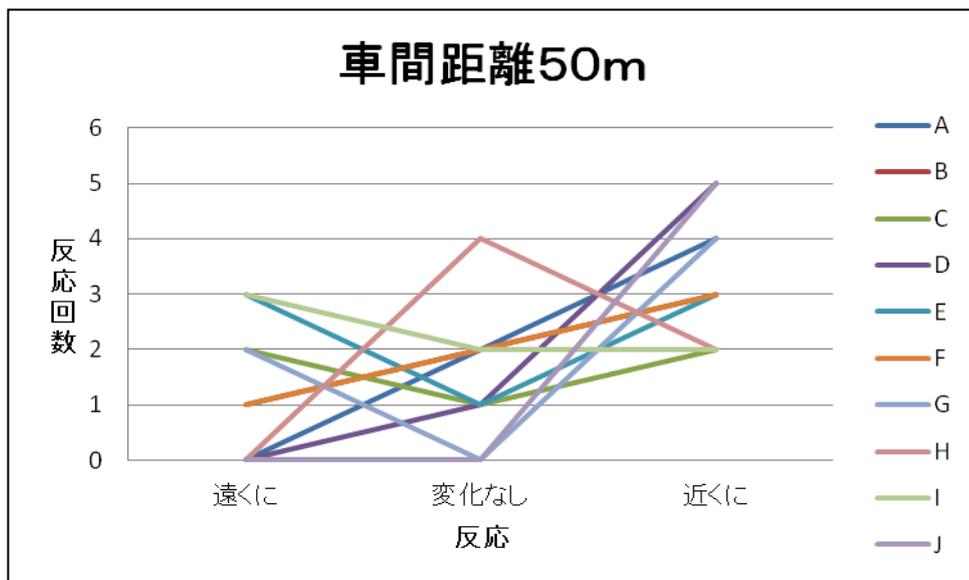


図35. 実験3 車間距離50m, 視覚パターン求心運動での反応の分布

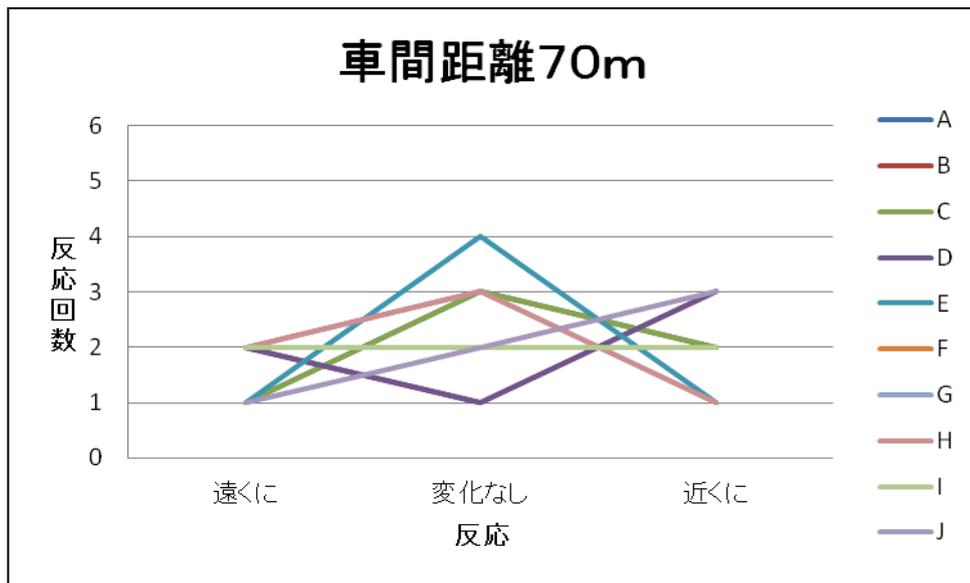


図 3 6 . 実験 3 車間距離 7 0 m, 視覚パターン求心運動での反応の分布

この分布から車間距離 3 0 m, 5 0 m, 視覚パターン求心運動では, 知覚的車間距離が近くに变化する傾向が確認できた. また, 車間距離 7 0 m, 視覚パターン求心運動では, 知覚的車間距離の变化の傾向は確認できなかった.

#### 4. 3. 2 視覚パターン遠心運動

図 3 7, 3 8, 3 9 は車間距離 3 0 m, 5 0 m, 7 0 m それぞれでの視覚パターン遠心運動での反応の分布を示す(被験者 1 0 名分). 横軸は反応, 縦軸は反応回数である. それぞれの線は被験者 1 0 人 (A~J) の反応のグラフである.

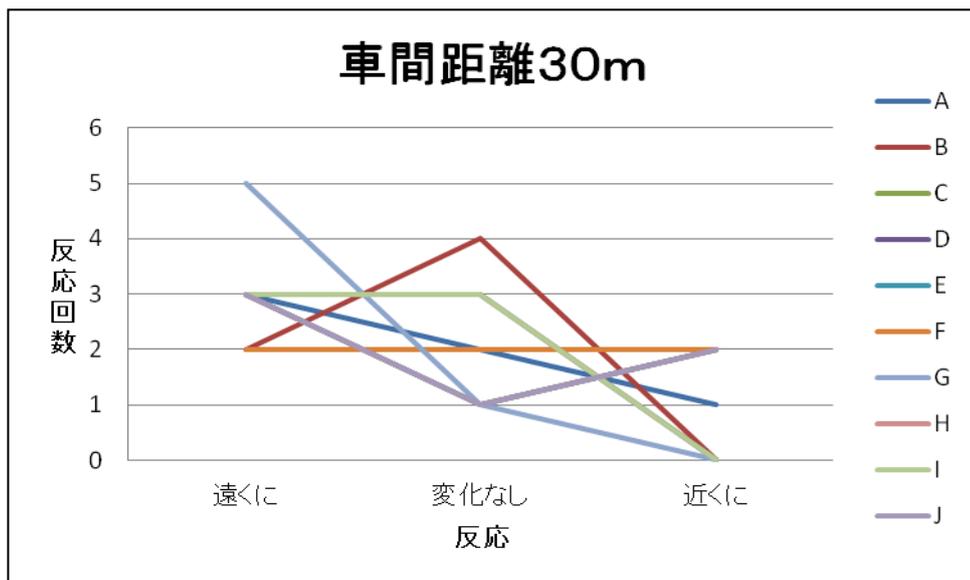


図 3 7 . 実験 3 車間距離 3 0 m, 視覚パターン遠心運動での反応の分布

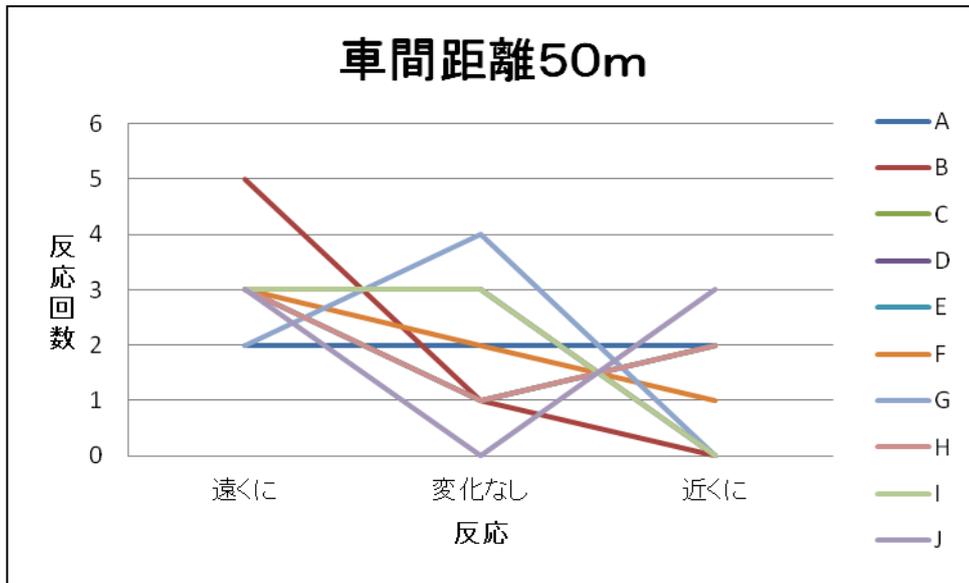


図 3 8. 実験 3 車間距離 5 0 m, 視覚パターン遠心運動での反応の分布

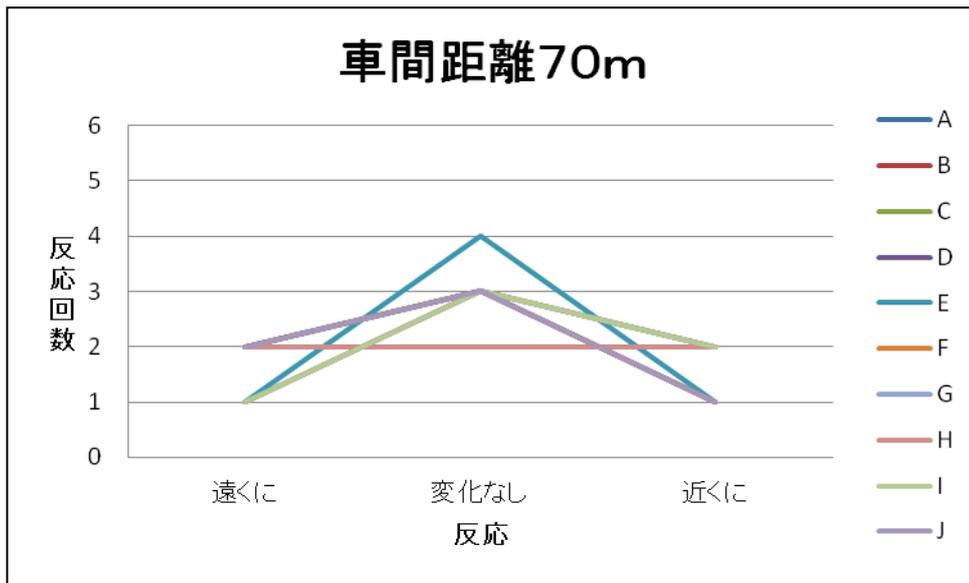


図 3 9. 実験 3 車間距離 7 0 m, 視覚パターン遠心運動での反応の分布

この分布から車間距離 3 0 m, 5 0 m, 視覚パターン遠心運動では, 知覚的車間距離が遠くに変化する傾向が確認できた。また, 車間距離 7 0 m, 視覚パターン遠心運動では, 知覚的車間距離の変化の傾向は確認できなかった。

#### 4.3.3 視覚パターン基準運動

図40, 41, 42は車間距離30m, 50m, 70mそれぞれでの視覚パターン基準運動での反応の分布を示す(被験者10名分). 横軸は反応, 縦軸は反応回数である. それぞれの線は被験者10人(A~J)の反応のグラフである.

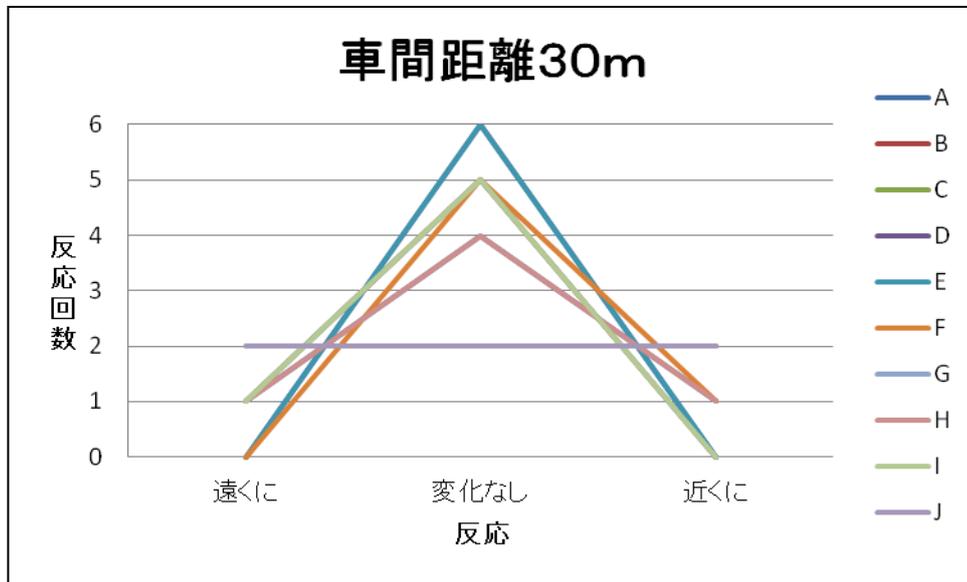


図40. 実験3 車間距離30m, 視覚パターン基準運動での反応の分布

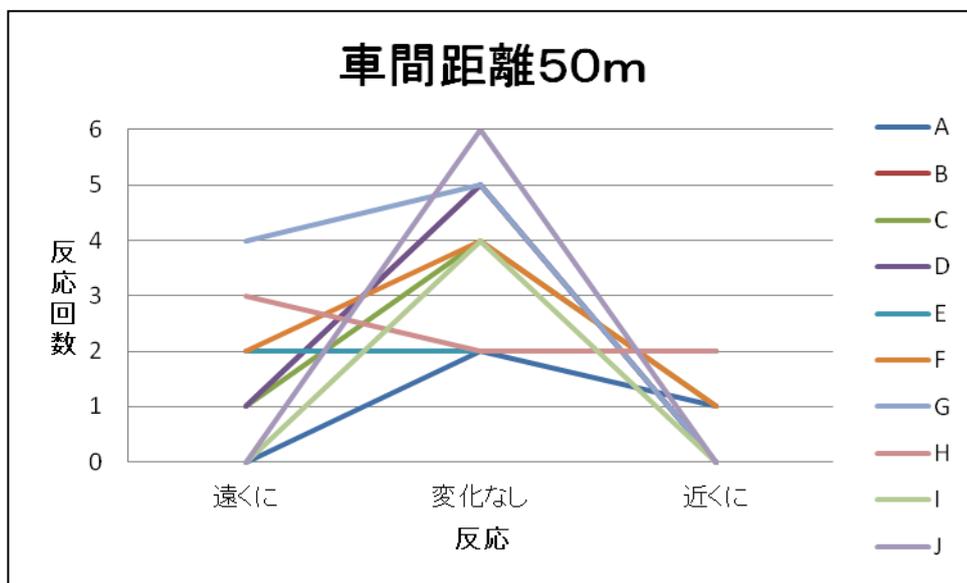


図41. 実験3 車間距離50m, 視覚パターン基準運動での反応の分布

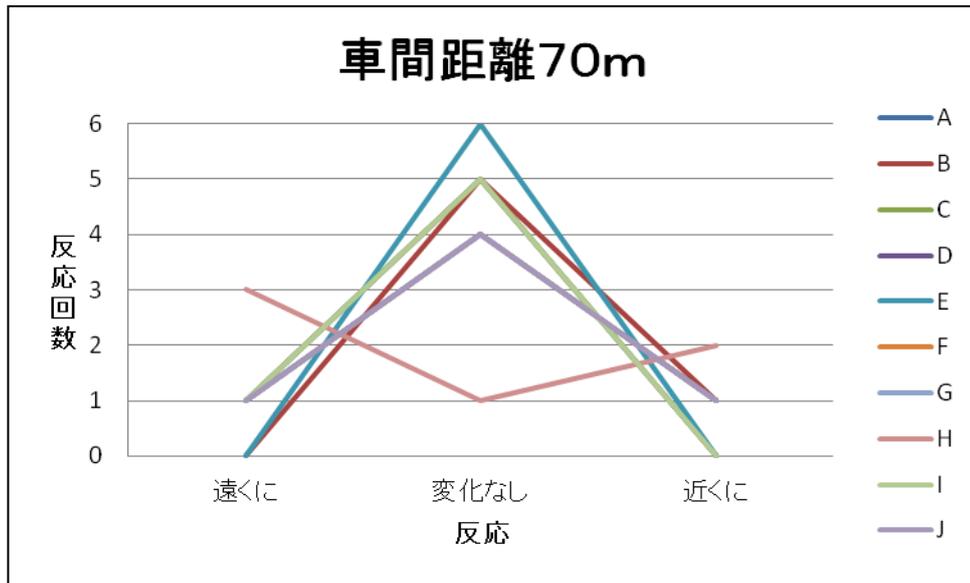


図 4 2. 実験 3 車間距離 7 0 m, 視覚パターン基準運動での反応の分布

この分布から車間距離 3 0 m, 5 0 m, 7 0 m, 視覚パターン基準運動では, 知覚的  
車間距離の変化の傾向は確認できなかった.

#### 4.3.4 集計

車間距離（30 m, 50 m, 70 m）それぞれで、視覚パターン（求心運動、基準運動、遠心運動）毎に反応を集計する。表7は全被験者の反応を集計した結果を示す。

表7. 車間距離それぞれでの、視覚パターン毎の反応

車間距離	視覚パターン	反応： 遠くに	反応： 無し	反応： 近くに
30 m	求心運動	12	19	29
	基準運動	13	32	15
	遠心運動	28	20	12
50 m	求心運動	14	18	28
	基準運動	16	31	13
	遠心運動	27	19	14
70 m	求心運動	16	25	19
	基準運動	15	34	11
	遠心運動	16	28	16

#### 4.3.5 検定

##### ・検定方法

車間距離毎に視覚パターン間での有意差の有無に関してカイ二乗検定を行う。本研究ではボンフェローニ法を採用するため、検定全体の有意水準5%を検定数で割った有意水準を使う。

##### ・検定結果

表8, 9, 10は、車間距離30 m, 50 m, 70 mそれぞれの視覚パターン（求心運動、基準運動、遠心運動）間での検定の結果である。

検定の結果、視覚パターン求心運動と遠心運動共に、車間距離30 m, 50 mでは視覚パターン間で有意差が確認できた。しかし、車間距離70 mでは有意差が確認できなかった。

表 8. 車間距離 30 m における視覚パターン間での検定結果

	カイ二乗値	自由度	p 値
30m: 求心運動-30m: 基準運動	7.808	2	0.015
30m: 基準運動-30m: 遠心運動	8.59	2	0.014
30m: 求心運動-30m: 遠心運動	13.474	2	0.001

表 9. 車間距離 50 m における視覚パターン間での検定結果

	カイ二乗値	自由度	p 値
50m: 求心運動-50m: 基準運動	9.07	2	0.011
50m: 基準運動-50m: 遠心運動	5.731	2	0.015
50m: 求心運動-50m: 遠心運動	8.816	2	0.012

表 10. 車間距離 70 m における視覚パターン間での検定結果

	カイ二乗値	自由度	p 値
70m: 求心運動-70m: 基準運動	3.538	2	0.17
70m: 基準運動-70m: 遠心運動	1.539	2	0.463
70m: 求心運動-70m: 遠心運動	0.427	2	0.808

#### 4. 4 考察

実験3の車間距離30m, 50mでの知覚的車間距離は, 実験2と同様, 求心運動では近くに, 基準運動では変化なし, 遠心運動では遠くに変化する傾向が確認できた.

しかし, 車間距離70mでは視覚パターン毎の傾向も見られず, 知覚的車間距離への影響は確認できなかった.

実験3は, 実験2からポンゾの錯視の効果を無くし, 運動残効のみで行ったものである. また, 実験1, 2と同様, 車間距離の違いにより, 知覚的車間距離への影響に差が出た.

実験3は, 実験2からポンゾの錯視の効果を無くしたものである. ポンゾの錯視の効果を無くして実験を行い, 実験2と同様の効果が出た場合, 知覚的車間距離に影響を与える主な要因はポンゾの錯視ではなく運動残効だと考えられる.

集計と検定の結果, 視覚パターン求心運動は知覚的車間距離を近くに, 遠心運動は知覚的車間距離を遠くに変化させる傾向があると分かった.

ここから, 知覚的車間距離の変化では, 運動残効がポンゾの錯視の効果よりも強く出たと考えられる.

## 第5章 考察

## 5. 考察

実験 1, 2, 3 の集計結果を, 車間距離(上向き台形と求心運動, 下向き台形と遠心運動)毎に視覚パターン毎にカイ二乗検定を行ったところ, 実験 1, 2, 3 の間で有意差が確認できなかった(表 1 1, 1 2, 1 3, 1 4, 1 5, 1 6).

表 1 1. 車間距離 3 0 m, 視覚パターン上向き台形 (求心運動) における  
実験間での検定結果

	カイ二乗値	自由度	p 値
30m : 実験 1 上向き台形-30m : 実験 2 求心運動	0.072	2	0.965
30m : 実験 2 求心運動-30m : 実験 3 求心運動	0.658	2	0.720
30m : 実験 1 上向き台形-30m : 実験 3 求心運動	1.606	2	0.448

表 1 2. 車間距離 3 0 m, 視覚パターン下向き台形 (遠心運動) における  
実験間での検定結果

	カイ二乗値	自由度	p 値
30m : 実験 1 下向き台形-30m : 実験 2 遠心運動	0.282	2	0.869
30m : 実験 2 遠心運動-30m : 実験 3 遠心運動	0.224	2	0.894
30m : 実験 1 下向き台形-30m : 実験 3 遠心運動	0.043	2	0.979

表 1 3. 車間距離 5 0 m, 視覚パターン上向き台形 (求心運動) における  
実験間での検定結果

	カイ二乗値	自由度	p 値
50m : 実験 1 上向き台形-50m : 実験 2 求心運動	1.577	2	0.455
50m : 実験 2 求心運動-50m : 実験 3 求心運動	0.863	2	0.658
50m : 実験 1 上向き台形-50m : 実験 3 求心運動	3.697	2	0.157

表 1 4. 車間距離 5 0 m, 視覚パターン下向き台形 (遠心運動) における  
実験間での検定結果

	カイ二乗値	自由度	p 値
50m : 実験 1 下向き台形-50m : 実験 2 遠心運動	0.707	2	0.702
50m : 実験 2 遠心運動-50m : 実験 3 遠心運動	0.339	2	0.844
50m : 実験 1 下向き台形-50m : 実験 3 遠心運動	2.001	2	0.368

表 1 5. 車間距離 7 0 m, 視覚パターン上向き台形（求心運動）における  
実験間での検定結果

	カイ二乗値	自由度	p 値
70m 実験 1 上向き台形-70m 実験 2 求心運動	2. 257	2	0. 323
70m 実験 2 求心運動-70m 実験 3 求心運動	2. 145	2	0. 342
70m 実験 1 上向き台形-70m 実験 3 求心運動	0. 233	2	0. 890

表 1 6. 車間距離 7 0 m, 視覚パターン下向き台形（遠心運動）における  
実験間での検定結果

	カイ二乗値	自由度	p 値
70m 実験 1 下向き台形-70m 実験 2 遠心運動	4. 183	2	0. 123
70m 実験 2 遠心運動-70m 実験 3 遠心運動	1. 965	2	0. 374
70m 実験 1 下向き台形-70m 実験 3 遠心運動	1. 166	2	0. 558

ここから, 実験 1 を含め, 今回の研究での知覚的車間距離への視覚パターンの影響は, 運動残効によるものだと考えられる.

最後に, 視覚パターンが高速道路で発生する渋滞の解決策になるかどうかについて考察する.

第一章に書いたように, 従来の対策の問題点は運転手の判断に委ねられている点である. そこで, 運転者の判断に左右され無い車間距離を広げるよう促す仕組みが必要になる.

今回の研究により, 視覚パターンが知覚的車間距離に影響を与えることが確認された. よって, この効果を利用することで, 知覚的車間距離を近く感じさせ, 物理的車間距離を広げるよう促すことが出来ると考える. そして, 物理的車間距離を広げることで渋滞解消の補助になると考えられる.

また視覚パターンを使った対策は, 車間距離の変更が運転手の意志に依存するのではなく, 感覚に依存する. よって, 自然な運転で渋滞を解決できるため, 運転手の快適な走行を妨げない, 運転手の視線を重視した渋滞対策になるのではないかと考えられる.

## 第6章 おわりに

## 6. 総括

今回の研究では、視覚パターンを用いて視覚的車間距離に影響を及ぼすには、運動残効が特に重要だという事が分かった。

そこで、実用化を目指す場合、車間距離を広げさせる対策として、路面に上向き台形を描く、または車両のリアバンパーに LED ライトなどで求心運動を表示する方法を提案する。

リアバンパーに表示させる場合は、効果を発生させるのに必要最低限な刺激を与えることが出来、運転手のストレスを少なく出来ると予想される。

また、高速道路での理想的な車間距離は70m以上である<sup>[1]</sup>。そのため、車間距離70mでは知覚的車間距離に影響を与える事ができなかった点については問題がないと考えた。

# 謝辭

## 謝辞

本研究を進めるにあたり，貴重な御意見および御指導いただいた，本学大学院システム工学専攻平原誠准教授に深く感謝致します。

また，実験にご協力いただいた被験者及び平原研究室の諸氏に深く感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 西成活裕, 『渋滞学』, 新潮選, 2006.
- [2] 尾崎晴男, 高速道路における自動車交通流の隘路現象,  
日本流体力学会誌, pp. 123-129, April 2003.
- [3] 首都高速道路株式会社, 渋滞への取組み,  
<http://www.shutoko.jp/efforts/traffic/action/index.html>.
- [4] 阪神高速, シークエンスデザインによる新しい交通安全対策,  
<http://skill.hanshin-exp.co.jp/library/tech/13002.html>.
- [5] 永見豊, 間接的な注意喚起を促す高速道路の路面標示デザイン提案, デザイン學研究作品集, pp. 80-83, March 2011.