

自動車用情報表示装置の安全性に関する研究

1998年

森田 和元

概要

自動車用ナビゲーションシステムが最近急速に普及してきている。ナビゲーションシステムは、経路誘導等を行うことにより運転者の負担を軽減し安全走行に寄与するものと考えられるが、逆に、表示装置を見ることによるわき見運転の可能性も否定できない。本論文は、ナビゲーションシステム等の情報表示装置に関し、運転者が表示情報を読みとる場合の安全性について論じている。

最初に、運転者が前方を視認している状態から車室内の表示装置を見るとき動作を解析することにより、わき見行動の実態について明らかにし、わき見運転と安全走行との関係を定量的に明らかにした。

さらに、表示装置に地名が表示される場合を想定して、観測者が地名表示を読みとる場合にどの程度の読みとり時間が必要かを、観測者による評価実験により求めた。地名表示に関しては、交差点を想定して3地名を表示する場合と、複数の表示地名の中に目的地が含まれているかどうか判断する場合との2種類の状況を想定して実験を行った。

また、表示装置として、通常液晶式のディスプレイの代わりに、ヘッドアップディスプレイが使用される場合を想定して、観測者が前方視認時にヘッドアップディスプレイの表示像をどの程度煩わしく感じるかについて、表示位置との関連で実験的に明らかにした。この領域は、観測者の眼の位置、観測者の年齢、運転時の視線移動等の影響を受けることが考えられるため、これらの要因による影響を詳細に解析した。

なお、高齢運転者が今後ますます増加することが予想されるため、これらの実験を行うにあたり、観測者の年齢層を若年層から高齢者層までとして加齢の影響についても明らかにした。

ABSTRACT

Recent years have seen a rapid spread in use of navigation systems in motor vehicles. Navigation systems have been designed to carry out route guidance and other tasks to lighten the burden on the driver and contribute to safe driving. Nevertheless, we cannot rule out the possibility of drivers having their attention on the road distracted by looking at the display device. This paper discusses the safety of display devices for navigation systems in cases where the driver is reading the displayed information.

To begin with, there is analysis of the movement by which the driver switches from looking ahead to looking at the display device in the motor vehicle. This should clarify the conditions for the action of shifting one's attention away from the road. It should also help clarify quantitatively the relationship between safety and driving while shifting one's attention away from the road.

The author furthermore posits a case where place names are displayed on the display device to clarify how much time is required for the observer to read the place name. This is done by means of an evaluation test performed by the observers. Regarding place name displays, two differing conditions are posited in carrying out the experiment:(a) A case in which a crossing is posited and three different place names are displayed; (b) A situation in which the observer must judge whether the target destination is included among multiple place names.

As for the display device, instead of the normal liquid crystal display, the author posits a case in which a head-up display is used to clarify experimentally the connection with the display position regarding the degree of troublesomeness. Because such factors as the position of the observer's eyes, the age of the observer, the movement of the line of vision, etc. have an influence on this range, there is detailed analysis of the influence of these various factors.

Moreover, as we can expect a further increase in the future in drivers of more advanced age, in conducting this experiment there is also an attempt to clarify the influence of an increase in age among the observers proceeding from a young group to drivers of more advanced age.

目次

第1章 序論	..... 1
1. 1 はじめに	..... 1
1. 2 ナビゲーションシステムの発展と研究状況	..... 2
1. 3 ヘッドアップディスプレイの研究状況	..... 4
1. 4 高齢運転者の問題	..... 5
1. 5 本論文の構成	..... 6
第2章 ナビゲーションシステムに関する基礎的調査	..... 8
2. 1 はじめに	..... 8
2. 2 実態調査	..... 8
2. 2. 1 調査方法	..... 8
2. 2. 2 調査結果	..... 8
2. 2. 3 その他の調査結果	..... 13
2. 3 表示装置注視時の運転者の眼の位置の移動量	..... 14
2. 3. 1 測定方法	..... 14
2. 3. 2 測定結果	..... 16
2. 4 まとめ	..... 19
第3章 表示装置注視時の安全性	..... 20
3. 1 はじめに	..... 20
3. 2 ブレーキ反応実験	..... 21
3. 2. 1 実験方法の概要	..... 21
3. 2. 2 表示位置	..... 21
3. 2. 3 表示内容	..... 22
3. 2. 4 実験手順	..... 24
3. 2. 5 その他の実験条件	..... 25

3. 3	ブレーキ反応実験の結果及び考察	.... 26	4. 3. 7	地名の親密度の影響	.... 53
3. 3. 1	ストップランプ点灯に気がつくかどうかについての観測者の意見	.. 26	4. 4	経路誘導地名の判読性に関する走行実験	.... 55
3. 3. 2	踏み替え時間	.... 26	4. 4. 1	走行実験内容	.... 55
3. 3. 3	反応時間	.... 26	4. 4. 2	走行実験結果	.... 56
3. 3. 4	先行車両のストップランプ点灯に気がつく割合についての考察	.... 28	4. 5	経路誘導地名の判読性のまとめ	.... 56
3. 3. 5	周辺視の場合の反応時間	.... 31			
3. 3. 6	不安感	.... 32	第5章 目的地を探索する場合の判読性	.... 58	
3. 4	わき見動作実験	.... 32	5. 1	はじめに	.... 58
3. 4. 1	実験方法	.... 32	5. 2	目的地を探索する室内実験方法	.... 58
3. 4. 2	実験結果	.... 32	5. 2. 1	実験装置	.... 58
3. 5	わき見運転時の反応時間の解析	.... 34	5. 2. 2	表示内容	.... 59
3. 5. 1	計算式の提案と解析結果	.... 34	5. 2. 3	実験方法	.... 60
3. 5. 2	解析方法の妥当性	.... 39	5. 3	目的地を探索する室内実験結果	.... 60
3. 6	まとめ	.... 39	5. 3. 1	読みとりの正確さ	.... 60
			5. 3. 2	「練馬」がある場合の読みとり時間	.... 62
第4章 経路誘導地名の判読性	.... 41		5. 3. 3	「練馬」がない場合の読みとり時間	.... 63
4. 1	はじめに	.... 41	5. 4	目的地を探索する走行実験	.... 66
4. 2	経路誘導地名の判読性に関する室内実験内容	.... 41	5. 4. 1	走行実験内容	.... 66
4. 2. 1	実験装置	.... 41	5. 4. 2	走行実験結果	.... 67
4. 2. 2	表示内容	.... 44	5. 5	目的地を探索する実験結果の考察	.... 69
4. 2. 3	実験方法	.... 45	5. 5. 1	室内実験と走行実験との比較	.... 69
4. 3	経路誘導地名の判読性に関する室内実験結果	.... 47	5. 5. 2	「練馬」がある場合とない場合とに関する考察	.... 69
4. 3. 1	読みとりの正確さ	.... 47	5. 6	目的地を探索する実験のまとめ	.... 71
4. 3. 2	年齢による読みとり時間の差	.... 48			
4. 3. 3	表示文字の大きさの影響	.... 50	第6章 読みとり時間に関する要因分析	.... 72	
4. 3. 4	表示位置の影響	.... 50	6. 1	はじめに	.... 72
4. 3. 5	ラジオを聞きながら観測したときの読みとり時間	.... 52	6. 2	読みとり時間の要因分析に関する実験内容	.... 73
4. 3. 6	予告音のある場合の読みとり時間	.... 52	6. 2. 1	基本的考え方	.... 73

6. 2. 2	実験装置	....73	7. 5. 2	実験結果による煩わしさ感の全般的傾向	...112
6. 2. 3	表示内容	....75	7. 5. 3	表示輝度の影響	...112
6. 2. 4	実験方法	....76	7. 5. 4	観測者の年齢による影響	...117
6. 3	読みとり時間の要因分析に関する実験結果と考察	....77	7. 6	走行時の煩わしさ感の変化	...119
6. 3. 1	読みとりの正確さ	....77	7. 6. 1	実験方法	...119
6. 3. 2	読みとり時間	....78	7. 6. 2	車両に乗車して行った実験結果及び考察	...125
6. 3. 3	マウスのボタンを押すための反応時間	....80	7. 7	HUDの2重像の影響	...128
6. 3. 4	視線移動時間についての考察	....82	7. 7. 1	実験方法	...128
6. 3. 5	調節に要する時間についての考察	....83	7. 7. 2	両眼視による2重像の説明	...130
6. 3. 6	実走行時の調節に関する考察	....85	7. 7. 3	全体の評価結果	...137
6. 4	読みとり時間の要因分析に関するまとめ	....86	7. 7. 4	両眼視の影響の解析	...137
			7. 7. 5	HUDの虚像までの距離と両眼視との関係	...141
第7章	ヘッドアップディスプレイの適正表示位置	....88	7. 7. 6	利き眼の影響	...143
	－煩わしさ感に関する実験的考察－		7. 7. 7	観測者の視力による影響	...147
7. 1	はじめに	....88	7. 8	HUDの煩わしさ感に関するまとめ	...149
7. 2	明るさ感に関する実験	....89	7. 8. 1	明るさ感のまとめ	...149
7. 2. 1	実験内容	....89	7. 8. 2	HUDの煩わしさ感に関する基礎的実験のまとめ	...149
7. 2. 2	実験結果	....94	7. 8. 3	運転者の眼の位置の影響のまとめ	...150
7. 2. 3	明るさ感に及ぼす加齢の影響の考察	....94	7. 8. 4	HUDの表示輝度及び観測者の年齢の影響のまとめ	...150
7. 3	HUDの煩わしさ感に関する基礎的実験	....97	7. 8. 5	走行時の煩わしさ感の変化のまとめ	...150
7. 3. 1	実験方法	....97	7. 8. 6	HUDの2重像の影響のまとめ	...151
7. 3. 2	実験結果	...100			
7. 3. 3	評価値を乗じた解析結果	...104	第8章	結言	...152
7. 4	運転者の眼の位置の影響	...105	8. 1	まとめ	...152
7. 4. 1	運転者の眼の位置の考え方	...105	8. 2	安全上必要な事項	...155
7. 4. 2	解析結果	...107	8. 3	今後の課題	...156
7. 5	HUDの表示輝度と観測者の年齢の影響	...109			
7. 5. 1	室内実験方法	...109	謝辞		...158

参考文献	...159
本論文の構成に関わる主たる発表論文	...167
その他関連する論文発表	...169

第1章 序論

1. 1 はじめに

自動車運転時に運転者は視覚により必要な情報のほとんどを得ているといわれており、視覚情報を的確に把握し判断することは、安全運転にとって重要な問題となる。ここで、視覚による情報は、道路交通状況のような車外からの情報と、車載表示装置のような車内からの情報との2種類が考えられ、この両方の視覚情報に関する安全性の研究が行われる必要がある。

前者の車外からの視覚情報に関連して、著者はこれまでに4種類の研究を行ってきた。最初に、二輪自動車の視認性に関し、前照灯を昼間時に点灯したときの誘目性の向上効果に関する実験を行い、その効果の評価を行った¹⁾。また、二輪自動車に橙色の補助灯を追加した場合の視認性の向上効果を補助灯の光度及び輝度との関係で明らかにするとともに²⁾、ニューラルネットワークを利用したデータの解析を行うことにより補助灯の最適な装着位置について求めた³⁾。この解析の結果、補助灯の光度が同一の場合、昼間時と夜間時とでは最適な装着位置が大きく異なることを明らかにした。この他、薄暮時の自動車の視認性の変化について実験データを基にしてシミュレーションを行い、視環境の明るさが変化する場合の自動車の視認性の評価方法について提案した⁴⁾。さらに、視環境の観点から薄暮における交通事故の発生状況を、交通事故データを統計的に解析することにより詳細に明らかにしてきた⁵⁾。

このような外部からの視覚情報を運転者が適切に処理することは安全運転に密接に関連するものであるが、最近では、車内からの情報として、車載表示装置により運転者に各種の情報を伝達することが増加してきている。その代表的なものがナビゲーションシステムである。日本におけるナビゲーションシステムの出荷台数は、図1-1のようにここ数年の間に急激に増加している（（社）日本電子機械工業会調べによる国内出荷台数）。ナビゲーションシステムは、経路誘導を行うことにより運転者の負担を軽減して安全走行に寄与するものであるが、逆に、表示装置を見ることによるわき見運転の可能性も否定できない。従って、運転者が表示情報を読みとる場合の問題点を解析して安全性との関連から論ずることは極めて重要なことであり、本論文は

その研究内容についてまとめたものである。

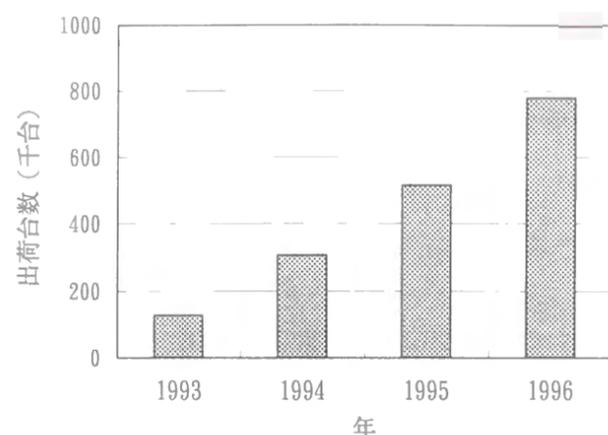


図1-1 ナビゲーションシステムの国内出荷台数

1.2 ナビゲーションシステムの発展と研究状況

ナビゲーションシステムは、半導体技術、情報通信技術の進歩とともに急速に発達してきた。初期（1988年頃）のナビゲーションシステムは、地磁気センサや距離センサを使用して自車の位置を定めるという自立航法型のものであったが、人工衛星によるGPS（Global Positioning System、汎地球測位システム（米国国防省が打ち上げた24個の衛星から電波を受信して受信地点の位置を特定するシステム））の発達とともに外部からの測位情報を追加して自車の位置をより正確に定めることができるようになってきた（1991年頃）。また、機能面では、自車位置を正確に道路と一致させるマップマッチングの技術が発達し（1990年頃）⁶⁾、さらに、出発地と目的地を入力することにより最適な経路を自動的に求めるようになってきている（1991年頃）。日本においては、現在一部の地域でVICS（Vehicle Information and Communication System、道路交通情報通信システム）のサービスが開始されており（1996年）、渋滞情報や交通規制情報等が時々刻々と道路側から自動車側に伝達されるようになって利便性の向上が一層はかられてきている。今後、ますます車外との通信により運転者に直接情報を与えていくことが予想され、運転者の車内情報に依存する傾向が増加すると考えられる。

さて、ナビゲーションシステムに関するこれまでの研究を概観すると以下のようなになる。T. A. Dingus⁷⁾は開発当初のナビゲーションシステムを使用して走行実験を行い、ナビゲーションシステムに関する視認動作のほか通常の視認動作に必要な時間を求めて両者の比較を行っている。Kimuraと岸^{8,9)}はナビゲーションシステムの表示画面の視認し易さを、色度差、グレア、情報量等の観点から検討して、輝度対比、色度差の適正な範囲等を求めるとともに、地図の表示方向、経路表示方法、道路表示量等についての検討を行い、設計指針を明らかにしている。J. Walker¹⁰⁾はシミュレータによる室内実験を行うことにより、地図表示の複雑さや音声による情報伝達について検討を行っている。さらに、表示内容を情報量に変換して認知のし易さとの関係を求めるもの^{11,12)}のほか、音声経路案内について実験を行い、提供すべき情報の種類とタイミングを明らかにしたものがある¹³⁾。最近では、経路逸脱時の誘導経路再計算の効果¹⁴⁾、鳥瞰的な地図表示の効果¹⁵⁾等の研究も行われてきている。基礎的な研究としては、空間的な地理の把握方法に関する研究も行われている¹⁶⁾。

ナビゲーションシステムの研究は上述のように種々行われているが、本論文では、これまで扱われてこなかった地名表示の判読性について検討を行う。ナビゲーションシステムの表示内容には大別して地図情報と文字情報とがあり、これまでは主に地図表示の視認性等の検討が行われていたが、地名表示のような文字表示については、その重要性にも関わらずほとんど行われてきていなかったものである。

ところで、地名を読みとる場合には、必要に応じてさまざまな状況が想定される。たとえば、運転中に交差点に近づいた場合には、どの進路をとるべきかが瞬時に理解できるものでなければならない。一方、地図上に目的地が含まれているかどうか、または、およそどの方向に目的地があるのかを理解できればよいという場合もある。

前者の場合を想定して、交差点における経路誘導と関連する3つの地名を表示した場合の読みとり時間について調べる実験を行った。一方、後者の場合を想定して、画面上に複数の地名を同時に表示して、その中に目的地が含まれているかどうかを観測者に素早く判断させ、その時の読みとり時間を調べるという実験も行った。これらの実験を通して、運転者がどのように地名表示を判読しているのかを解析した。これらの解析結果を第4章から第6章にかけて記述する。

また、わき見運転を行った場合の運転者のブレーキ操作に必要な反応の遅れ時間を実験的に求め、安全性にどの程度影響を及ぼすのかを明らかにした結果を第3章に記述する。

1. 3 ヘッドアップディスプレイの研究状況

自動車の前面窓ガラスを利用して虚像を運転者に表示するヘッドアップディスプレイ（HUD）については、視線移動量の低減や焦点調節に要する時間の低減がはかられ¹⁷⁾、運転者にとって有効な情報伝達方法であるといわれている。HUDについては、当初、航空機分野で発達した技術であり、戦闘機のパイロットが前方の目標物を視認しながらHUDの情報を得る際の表示像までの最適距離を明らかにする研究^{18, 19)}であるとか、HUDを民間航空機に導入する場合の評価試験が行われてきた²⁰⁾。このような航空機用HUDの技術を応用して、1988年に日本と米国において市販の自動車への搭載が行われるようになった^{21, 22)}。初期の研究では、設計開発時の垂直方向の2重像に関する視差の問題点を論じたもの^{23, 24)}や、通常のインストルメントパネルに組み込まれるデジタル車速計とHUD方式の車速計との両者の間で、車速の制御性能がどのように異なるかを論じたものがある²⁵⁾。岡林ら^{26, 27, 28)}はHUDに関する一連の詳細な実験を行い、観測者の正面前方にHUDを表示する場合に情報の読みとりの正確さが向上すること、情報を探索するときに周辺視野の情報が重要であること、表示像への俯角が5度以内であれば前景情報と表示情報とを正しく理解できること等の知見を明らかにしている。また、最近では、車速表示のためばかりではなくナビゲーションシステム等の表示装置としてHUDを利用することが各種提案されてきている。たとえば、S. Shekharら²⁹⁾は簡略図形をHUDにより表示して経路誘導を行う際の問題点について論じており、Fukanoら³⁰⁾は前景の道路状況と合致するようなHUDによる経路誘導方法を提案している。その他、赤外線カメラを利用して夜間の歩行者を発見しHUDにより表示する方法の提案^{31, 32)}であるとか、車速以外のHUDの表示内容について全般的に考察した研究³³⁾が行われてきている。また、運転者が車両購入後に装着するアドオンタイプのHUDも開発されており³⁴⁾、今後ますます自動車の表示装置として普及していくことが予想される。

ところで、自動車用HUDが航空機用HUDと異なる点の一つとして、航空機の場合には天空が前景（HUDに対しては背景）となるため均一で変化が少ないものの、自動車の場合には運転時に前景が複雑に変化していることがあげられる。この点に関し、HUDの判読性と前景の複雑さとの関係が研究されてきている^{35, 36)}。

また、この他、航空機の場合には専門的スキルを有するパイロットが操縦するものの、自動車の場合には一般の人が運転することになるという違いもある。従って、HUDの技術が普及するためには、ただ単に視線移動量低減等の数値上の性能向上を実現するものだけでなく、多数の運転者にとって違和感を与えない好ましいものである必要がある。本論文では、この観点からの解析を試みている。すなわち、HUDの表示位置に関していえば、表示内容をすばやく読みとらせるためには、前述のこれまでの研究成果が示すように運転者の正面前方に表示するのが最適であると考えられる。しかし、実際の運転時においては、運転者の正面前方にHUDを表示することは、前方の風景と重なることから、運転者にとって煩わしく感じられるため、正面前方から離れた位置にHUDを表示する方がよいとも考えられる。従って、本論文では、第7章において、HUDの表示位置により運転者がどの程度煩わしさを感じるのかを実験的に明らかにする。

1. 4 高齢運転者の問題

以上述べたようなナビゲーションシステム、HUD等の実験を行うにあたり、本論文では別の観点からの検討も行っている。それは、運転者の加齢の影響の検討である。日本においては、近年高齢者の占める割合が増加しており、それに伴い高齢運転者の割合も増加してきている。自動車事故に関しても、運転中の高齢運転者の死者数が年々増加している。図1-2に、16～24歳、25～64歳及び65歳以上の各年齢層について、自動車運転中の交通事故死者数の比率（各年齢層の自動車運転中の死者数を自動車運転中の全死者数で除した値）の推移を示す³⁷⁾。65歳以上の高齢運転者の死者数の比率が年々増加していることがわかる。

高齢者は一般に反応時間が遅くなる³⁸⁾という運動機能の低下のほかに、視覚に関しても視力の低下、焦点調節力の低下、焦点調節応答速度の低下、視野の狭小化等の機

能低下が生じる^{39, 40, 41, 42, 43}。加齢に伴うこのような視覚機能低下については、医学的なデータはこれまでも数多く公表されているものの、自動車の表示装置を見るような場合の運転者の視覚情報処理に関しては、必ずしも十分に研究が実施されているとはいえない^{44, 45}。従って、表示装置に関する観測実験を行う場合には、加齢による影響を検討することも重要な調査項目となる。このため、各種の観測実験を行うにあたっては、観測者の年齢層を考慮して実験を行うこととした。

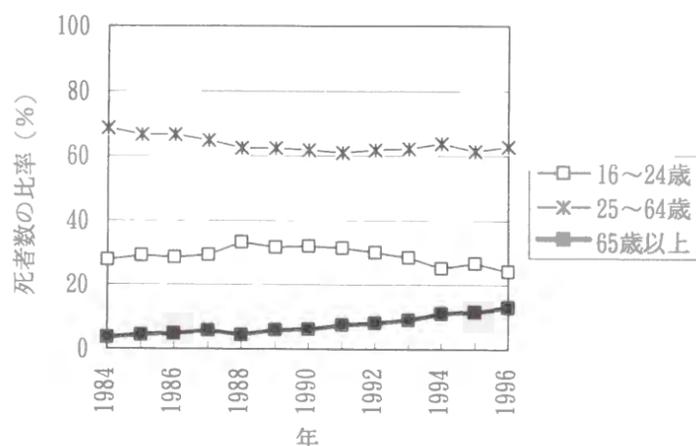


図1-2 自動車運転中の交通事故死者数の比率

1. 5 本論文の構成

本論文は、第1章の序論のほか以下の章により構成される。

第2章においては、ナビゲーションシステムについて実態調査を行い、表示装置の搭載位置に関するデータ等を収集して今後の実験条件を設定する際の参考とした。さらに、表示装置を見る場合の運転者の眼の位置の移動量を測定することにより、搭載位置と運転者の視点との位置関係の変化を明らかにした。

第3章においては、車載表示装置の搭載位置を各種変化させた場合の前方視認状況を調べている。運転者が表示装置を見る場合には、正面前方から視線を移動することから、わき見運転につながる事となる。しかし、周辺視により前方の交通状況が把握できるのであれば、それは重大な問題ではないといえる。この点に関し、実際にテストコース上で観測者に自動車を運転させながら車室内の表示装置を見させて、その時、先行車両のストップランプの点灯に気づくかどうかの実験を行った。その実験結

果に基づき、周辺視による前方認知の程度を明らかにした。さらに、第3章においては、わき見時間と安全性との関係を論じている。運転者はこれまでも車速計等の室内表示装置を見ながら運転してきている。運転時に車室内の表示装置を全く見ないで運転するというのも現実的な話ではない。従って、通常の運転者にとって、どの程度のわき見ならば危険と感じないのかを調べる実験を行い、一回の視線移動で運転者が無理なく見ることのできる注視時間についてのデータを得ることを試みた。さらに、わき見をすることによるブレーキ操作の遅れ時間について、実験データを基にして計算により推定した。

第4章から第6章においては、ナビゲーションシステムの表示情報が地名である場合の読みとり時間を実験により明らかにしている。この場合、前述のように運転者が情報を必要とする状況に応じて、3つの経路誘導地名を読みとる場合と、複数の地名の中から目的地を探索する場合との2種類の実験を行った。また、観測者の視線移動時間、調節に要する時間について実験的な考察を行い、調節時間に関するこれまでの医学的データとの比較検討を行っている。

第7章においては、HUDの煩わしさ感に関して論じている。最初に、HUDの適切な輝度範囲を求めて、後の室内実験の条件設定の参考としている。次に、HUDの煩わしさ感に関して、テストコース上での観測実験を行うことにより、表示位置とHUDの煩わしさ感との基礎的な関係を明らかにした。さらに、HUDの煩わしさ感に影響を及ぼす要因の一つとして運転者の眼の位置をとりあげ、水平よりも下の位置にHUDを表示した場合には、眼の位置が低い運転者にとってはHUDの虚像が上方方向に移動して見えるため煩わしさ感が増加することを明らかにした。さらに、高齢者は正面前方付近の煩わしさを感じやすくなることを実験により検証するほか、実際の運転時には運転者の視線移動があるため、左方向のHUDの表示位置に関して煩わしさ感が増大することを明らかにした。また、HUDの虚像までの距離が短い場合には、運転者の左右の眼による2重像が見えることとなるので、その2重像と煩わしさ感との関係を実験的に明らかにした。

第8章においては、自動車用情報表示装置の安全性に関するまとめを記述するとともに、今後の課題をあげている。

第2章 ナビゲーションシステムに関する基礎的調査

2.1 はじめに

ナビゲーションシステム以外にも、自動車には、バックアイ（車両後退時に後方視野を表示するもの）、テレビ等の情報表示装置が搭載されている。本章においては、これらの車室内の表示装置に関し、その搭載位置等について調べ、以後の実験の条件設定の参考としている。この搭載位置は、運転者が正面前方を見ている場合の運転者の代表的な眼の位置からの視角で表現されるが、実際に運転者が表示装置を見る場合には、顔がそちらの方を向くため眼の位置が移動して、相対的に表示装置に対する視角も変化することとなる。従って、その変化量についても実験的に検討を行った。

2.2 実態調査

2.2.1 調査方法

調査対象は、各自動車メーカーの標準またはオプション装備となっている情報表示装置とした。なお、本実態調査を行うにあたっては、（社）日本自動車工業会の協力を得た。ナビゲーションシステムに関しては、車両購入後のいわゆるアフターマーケット製品が各種販売されているものの、搭載位置等はユーザにまかせられており特定できないため、今回の調査対象からは除外した。調査対象数は、10自動車メーカーの35件（旧モデルを含む）であり、このうち、ナビゲーションシステムは16件、バックアイは10件、テレビは9件であった。なお、調査時点は1994年11月である。

2.2.2 調査結果

視認性と関係が深い搭載位置に関して、運転者の眼の位置から表示画面の中心にいたる視線の水平方向視角（基準アイポイント（後述）から左側に見える方向をプラス）と垂直方向視角（基準アイポイントから下側に見える方向をプラス）を求めると図2-1のように分布する。ここで、運転者の眼の位置に関しては、運転者の眼の位置の統計的分布を表す範囲として楕円状のアイレンジが規定されており^{1,2)}、また、この楕円はアイリップス（eyellipse, 眼(eye)と楕円(ellipse)の合成語である）とよばれている。アイレンジはその範囲によって90、95及び99パーセントイルのもの

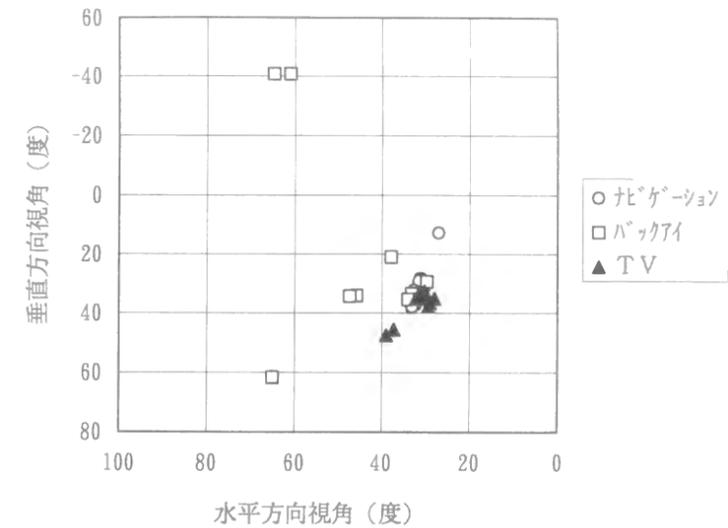


図2-1 表示装置の搭載位置

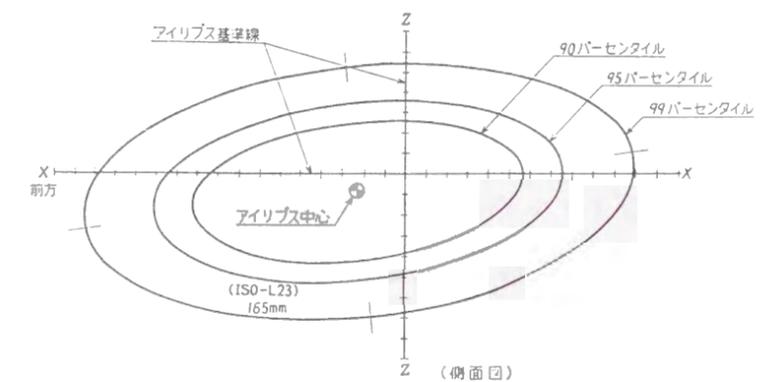
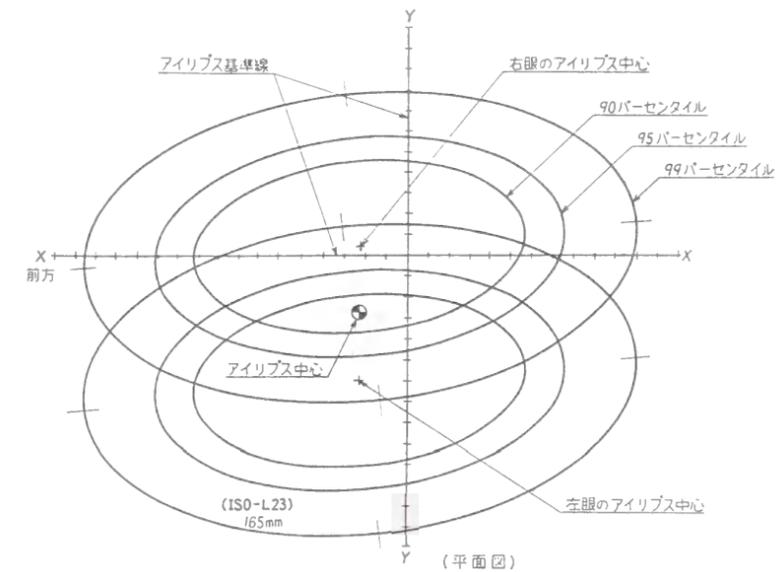


図2-2 アイレンジ

が平面図と側面図に関して規定されている（図2-2）。また、運転者の眼の分布の代表的な位置として基準アイポイントが単眼と双眼について規定されており¹⁾、単眼については、シーティングリファレンスポイント³⁾（R点）より直上635mmの位置とされている（ただし、シートバックアングルが25度の場合）。ここで、シーティングリファレンスポイント（R点）とは、専用の3次元人体模型を、設計基準状態に調整したシートに着座させた場合の胸部と大腿部の回転中心点に相当する点であって、着座する乗員に関して設計基準点となる点をいう。前述の搭載位置を示す場合の運転者の眼の位置とは、上述の基準アイポイントの位置をさす。以下、本論文で基準アイポイントと記述している場合は、シーティングリファレンスポイントより直上635mmの位置をさす。

図2-1中のバックアイに関しては、運転者から見て左上方のように離れた位置にとりつけられているものがあるが、自動車後退時に使用するものであるため、使用上の問題はないものと考えられる。

ナビゲーションシステムの表示装置に関しては、水平方向視角で、約30度から33度の範囲に搭載されているものが多く（平均で31.4度）、垂直方向視角で約28度から38度の範囲に搭載されているものが多い（平均で31.5度）。

ところで、基準アイポイントは代表的な眼の位置であるが、運転者の眼の位置はアイレンジで示される範囲に分布している。従って、表示装置に対する視角についても範囲をもって考慮される必要がある。そこで、95パーセンタイルのアイリプスの側面図と平面図に関し、表示画面の中心からアイリプスに対して接線を引いたときの最小視角と最大視角を図2-3及び図2-4に示す。95パーセンタイルのアイリプスで考えるということは、アイリプスへの接線に関して、アイリプスのある側に95%の眼の分布が存在し、アイリプスのない側に5%の眼の分布が存在することを示す（図2-5）。

図2-3は95パーセンタイルアイリプスの平面図に関する水平方向最小視角と側面図に関する垂直方向最小視角を図示したものであり、平面図に関しては、表示装置が運転者の左側にある場合には、左眼に関して水平方向最小視角が求められるものである。図2-4は、同様に平面図に関する水平方向最大視角と側面図に関する垂直方

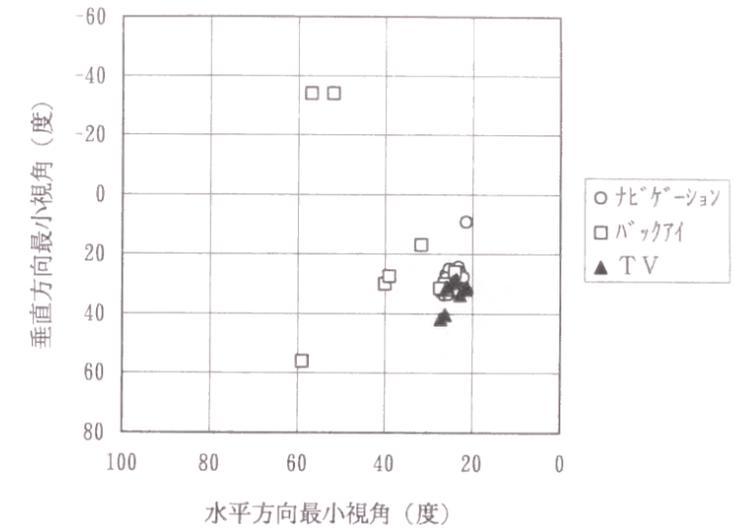


図2-3 表示装置に対する最小視角

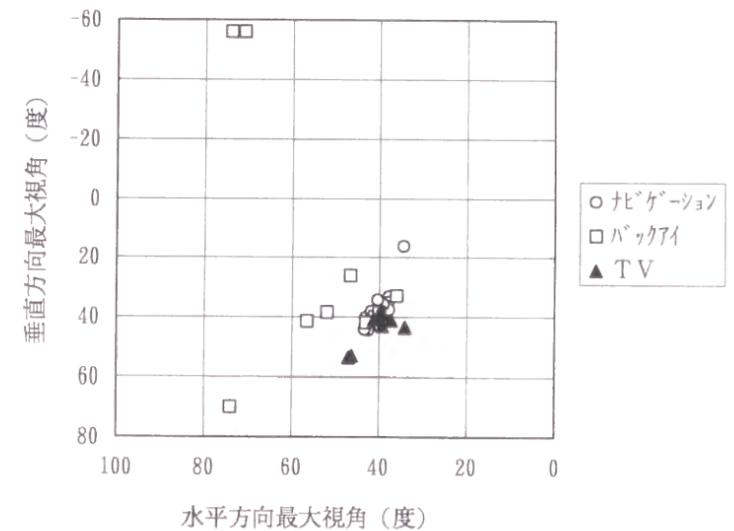


図2-4 表示装置に対する最大視角

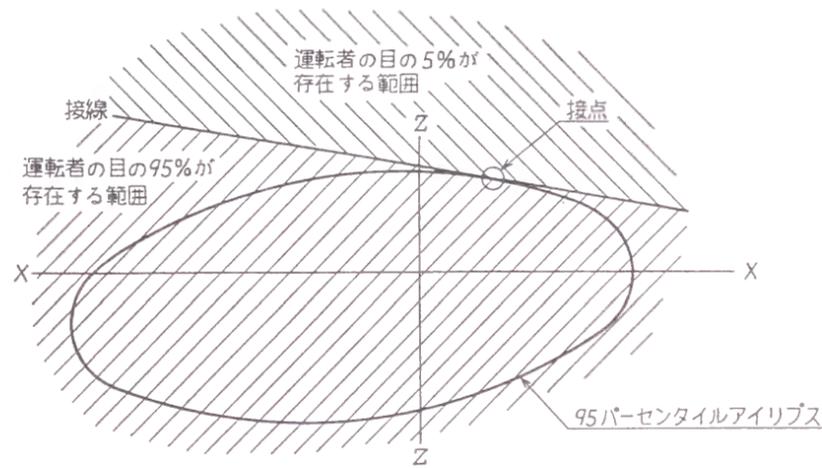


図 2-5 アイリプスによる運転者の眼の存在する範囲

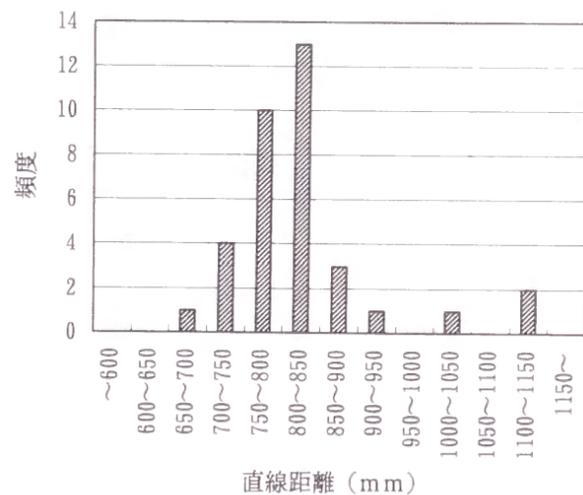


図 2-6 表示装置までの距離

向最大視角を図示しており、平面図に関しては、表示装置が運転者の左側にある場合には、右眼に関して水平方向最大視角が求められるものである。このような図から、様々な体格の運転者の眼の位置からどのような方向に表示装置が見えるのかを推定することができる。

ナビゲーションシステムの表示装置に限定して考えると、最小視角に関しては、水平方向で約 22 度から 27 度の範囲に搭載されているものが多く（平均で 24.5 度）、垂直方向で約 25 度から 34 度の範囲に搭載されているものが多い（平均で 27.5 度）。また、同様に最大視角に関しては、水平方向で約 38 度から 42 度の範囲に搭載されているものが多く（平均で 40.0 度）、垂直方向で約 34 度から 45 度の範囲に搭載されているものが多い（平均で 37.3 度）。以上のような視角の範囲で多くの運転者は表示装置を見ていることとなる。

基準アイポイントから表示画面の中心にいたる直線距離の頻度分布は、図 2-6 に示すようであり、750mm から 850mm の距離のものが多い（平均で 807mm）。

2. 2. 3 その他の調査結果

今回調査したナビゲーションシステム 16 件に関して、上述以外の点についてまとめを行うと、

- (1) 自動車の位置推定方法に GPS を使用するもの 10 件
 - (2) 自動車の位置推定方法に地磁気センサを使用するもの 12 件
 - (3) 自動車の位置推定方法に車輪速センサを使用するもの 16 件
 - (4) 自動車の位置推定方法にジャイロセンサを使用するもの 10 件
- (いずれも重複を含む)

であり、また、機能面では、

- (5) 最短経路計算を行うもの 4 件
 - (6) 経路誘導を行うもの 6 件
 - (7) 音声誘導を行うもの 3 件
 - (8) 渋滞等交通情報入力を行うもの 0 件
- (いずれも重複を含む)

であった。これらの結果は、1994 年当時のものであるため、現在では、機能面で

さらに充実が図られていると考えられる。

さらに、これまで述べてきたナビゲーションシステム等の調査とは別に、表示画面の実態についても調査可能な範囲で調べた（1995年7月）。15種類の表示装置についての調査結果は次のようになった。地名表示の大きさ（文字の縦方向の寸法）については、5mmのもの9件、6mmのもの6件であり、また、地名数（駅名、ホテル名等を含む）については、4～18個の範囲であった。

2.3 表示装置注視時の運転者の眼の位置の移動量

これまで検討した基準アイポイントについては、正面前方を見ているときの運転者の眼の位置を想定して規格で定められているものである。しかし、表示装置を実際に運転者が見る場合には、わずかとはいえ、その方向に顔を向けることとなる。その結果、前方を見ているときの眼の位置と異なる位置から表示画面を見ることとなる。従って、実際にどのように運転者の眼の位置が移動するのかを三次元座標測定装置を使用して測定を行った。

2.3.1 測定方法

測定に使用した車両は、2000ccクラスのバン型乗用車である。シートを最後端に設定し、シートバックアングルを25度（設計値）として、AM50パーセントイルの人体模型を着座させてH点³⁾（シーティングリファレンスポイントに相当する）を実測し、これを座標測定時の原点とした。座標軸の方向に関しては、x軸を車両前後方向（後方をプラス）、y軸を車両左右方向（右方向をプラス）及びz軸を車両上下方向（上方向をプラス）とした。

被験者は70名（男性60名、女性10名）であり、その身長と体重の分布を図2-7に示す。平均身長は168.4cm（男性のみでは170.0cm）、平均体重は64.0kgf（男性のみでは66.2kgf）であった。被験者には、自分の運転姿勢にあうようにシート位置を調整し、シートベルトをするように指示をした。そして、測定実施者が、三次元座標測定装置のプロープを運転者の両眼を結ぶ線の中点の位置に接触させて、単眼の位置の座標を測定した。この際、正面前方を見る場合の眼の位置のほか、注視対象として車室内に4点の注視点（P1点、P2点、P3点及びP4点と

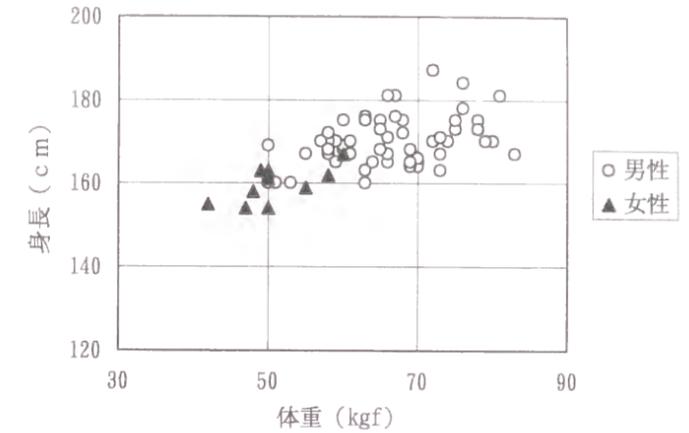


図2-7 被験者の身長と体重

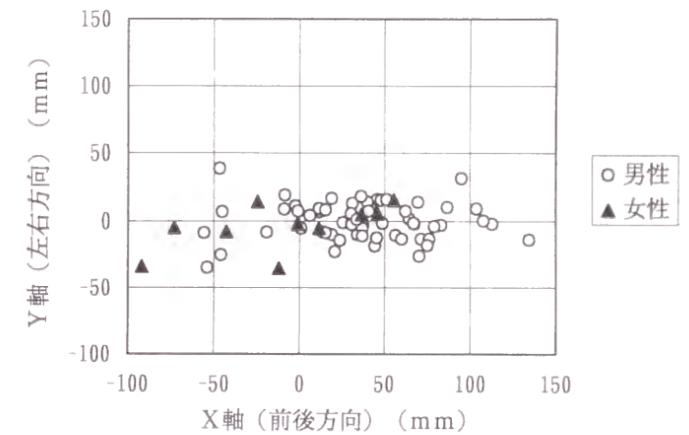


図2-8 前方注視時の眼の位置（平面図）

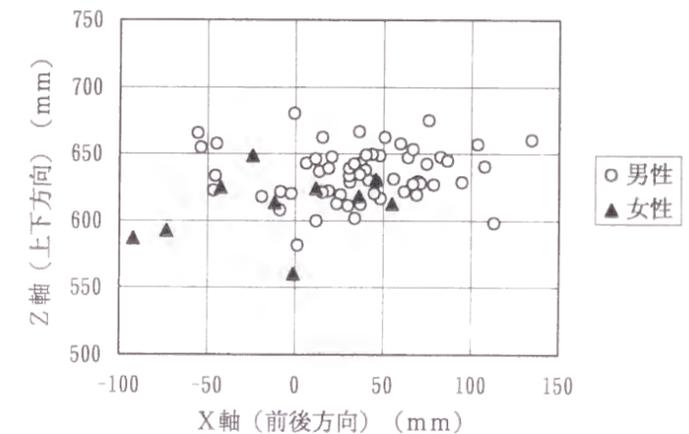


図2-9 前方注視時の眼の位置（側面図）

よぶ)を設定して、被験者に順にその点を見るように指示をして、そのときの眼の位置を順に測定した。4点の注視点のうち、3点(P1点~P3点)については、ダッシュボードの左右のほぼ中央部に縦一列に15cm間隔で設定したものである。他の1点(P4点)については、実際のナビゲーションシステムの表示装置の取り付け位置である。それぞれ4点の座標は以下のとおりである。

P1点 x=-591mm y=-373mm z=462mm

P2点 x=-591mm y=-373mm z=312mm

P3点 x=-591mm y=-373mm z=162mm

P4点 x=-504mm y=-429mm z=380mm

2.3.2 測定結果

前方注視時の眼の位置の測定結果については、x軸とy軸に関する平面図を図2-8に、x軸とz軸に関する側面図を図2-9に示す。x座標、y座標及びz座標に関する眼の位置の平均と標準偏差は表2-1に示すとおりである。ここで、男性被験者60名の平均をみると、JASO Z008¹⁾に定める設計上の基準アイポイントと比較して、前後方向については実測値が37mm後方となるものの、左右方向と上下方向については、実測値がそれぞれ0mmと635mmとなり一致した。

表2-1 前方注視時の眼の位置

	被験者全員(70名)		男性被験者(60名)	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
x(前後方向)	30mm	45mm	37mm	41mm
y(左右方向)	-1	14	0	14
z(上下方向)	631	22	635	20

つぎに、車内に設定した4個の注視点を見た場合の眼の位置の移動量を求めることとする。それぞれの測定値から前方注視時の眼の位置の測定値を引いた差を計算して、図示したものが図2-10である(P1点を見た場合の例)。それぞれ、x軸(前後方向)とy軸(左右方向)に関するもの、x軸(前後方向)とz軸(上下方向)に関するもの、

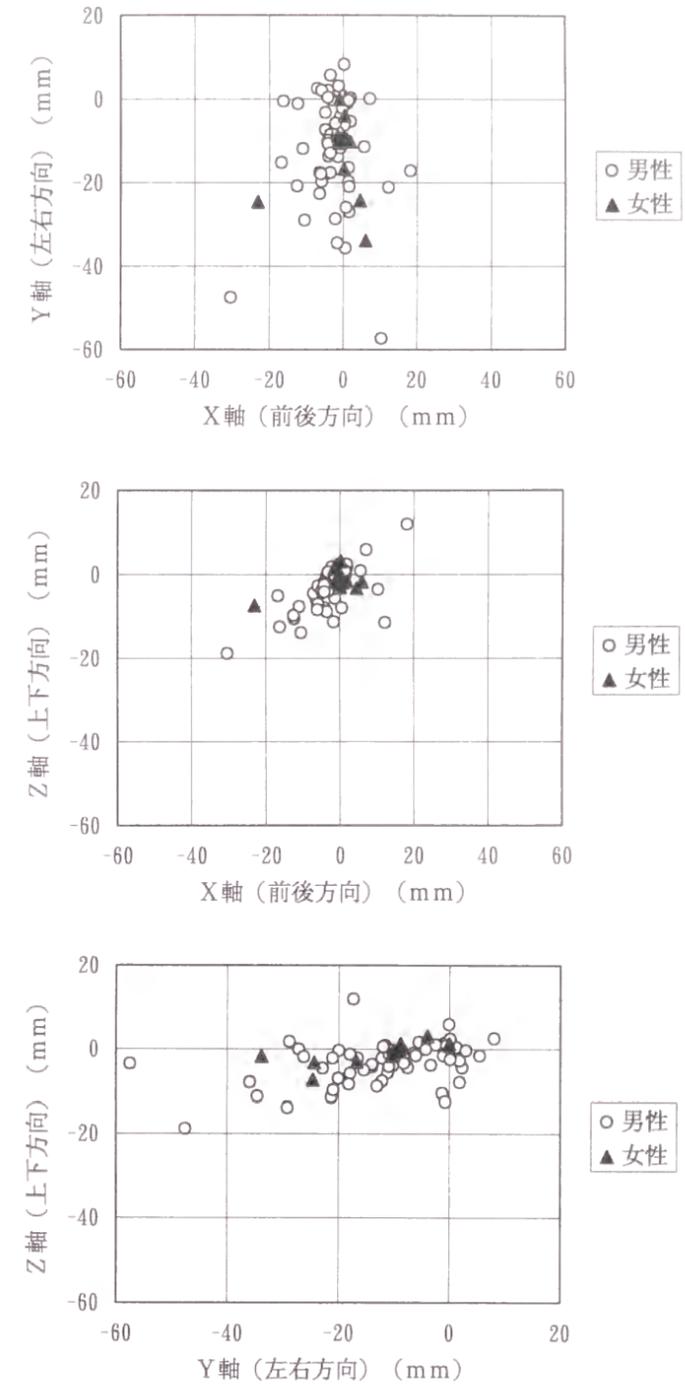


図2-10 P1点を注視する場合の眼の位置の移動量

するもの及びy軸（左右方向）とz軸（上下方向）に関するものを示す。4個の注視点をそれぞれ見る場合の眼の移動量については表2-2に示すとおりであり、注視点により多少異なるものの、たとえば、左右方向で20mm程度の眼の移動があることがわかる。

表2-2 注視点を見る場合の眼の移動量

	被験者全員（70名）		男性被験者（60名）	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
P1点				
x（前後方向）	-2mm	7mm	-2mm	7mm
y（左右方向）	-12	12	-12	13
z（上下方向）	-3	5	-3	5
P2点				
x（前後方向）	-5mm	7mm	-5mm	7mm
y（左右方向）	-15	16	-15	17
z（上下方向）	-8	8	-8	8
P3点				
x（前後方向）	-8mm	10mm	-9mm	9mm
y（左右方向）	-20	17	-20	18
z（上下方向）	-14	10	-14	10
P4点				
x（前後方向）	-6mm	11mm	-6mm	10mm
y（左右方向）	-22	18	-23	19
z（上下方向）	-10	8	-11	8

これを被験者全員（70名）の移動量の平均を基にした視角の変化で考えると、たとえば、移動量の大きいP4点の水平方向視角については、前方を見ている時の眼の位置の実測値からの水平方向視角38.7度（ $=\arctan 428\text{mm}/534\text{mm}$ 、ここで、

たとえば428mmの値は、P4点のy座標と、前方を見ている時の眼の位置のy座標との差として求める、以下同様）が、P4点を注視した時の水平方向視角37.6度（ $=\arctan 406\text{mm}/528\text{mm}$ ）と変化することとなり、視角変化量は1.1度となる。また、設計上の基準アイポイントからの水平方向視角40.4度（ $=\arctan 429\text{mm}/504\text{mm}$ ）を基にすると、P4点を注視した時の水平方向視角との差は2.8度となる。

一方、垂直方向視角についても、たとえば、P4点の場合を例にとって考えると次のようになる。前方を見ている時の眼の位置の実測値からの垂直方向視角25.2度（ $=\arctan 251\text{mm}/534\text{mm}$ ）が、P4点を注視したときの垂直方向視角24.5度（ $=\arctan 241\text{mm}/528\text{mm}$ ）へと変化し、その視角移動量は0.7度となる。また、設計上の基準アイポイントからの垂直方向視角26.8度（ $=\arctan 255\text{mm}/504\text{mm}$ ）を基にすると、P4点を注視した時の垂直方向視角との差は2.3度となる。

前節のナビゲーションシステムの表示装置に対する視角の実態調査結果から考えると、これらの視角の変化量については特に大きなものではないと考えられ、搭載位置については、設計上の基準アイポイントを基にして考えれば実際上問題がないと考えられる。

2.4 まとめ

情報表示装置の搭載位置等の実態調査を行った結果、ナビゲーションシステムの表示装置については、水平方向視角で、約30度から33度の範囲に搭載されているものが多く（平均で31.4度）、垂直方向視角で約28度から38度の範囲に搭載されているものが多い（平均で31.5度）ことがわかった。また、基準アイポイントから表示画面の中心にいたる直線距離は、750mmから850mmの距離のものが多い（平均で807mm）ことがわかった。

さらに、表示装置を運転者が見る場合の眼の位置の移動量の測定を行った結果、搭載位置については、基準アイポイントからの視角で考えて実際上問題がないことが推測された。

第3章 表示装置注視時の安全性

3.1 はじめに

ナビゲーションシステムの表示装置は車室内に搭載されることから、運転者がその表示内容を見る場合には、正面前方から表示装置の方に視線を移動させることになる。表示装置の方を見ていても、周辺視により前方の交通状況を認知できるのであれば、表示装置を見るという行為も安全走行上重大な支障にはならないといえる。逆に、表示装置を見ているとき前方の交通状況の変化に気がつくことがなければ、交通事故にもつながりかねない。本章の目的は、車室内表示装置を見ることで、どのように安全運転と関係するのかを調べることである。

この目的のために、今回2種類の実験を行った。一つは、運転者（観測者）に表示装置の方向を見させているときに前方の先行車両のストップランプを点灯させて、そのときの運転者の反応時間（ブレーキ操作に要する時間）を調べるという実験である（以下、「ブレーキ反応実験」という）。この実験においては、表示装置の設置位置を各種変更し、また、表示装置の方を見続けるように観測者に指示をした。周辺視による反応時間等についてはこれまでも多くの研究が行われているが^{1,2)}、室内実験によるものが多く、実際の自動車を使用して表示装置を見させるというわき見運転を行って反応時間を調べたものはほとんどない。従って、実走行時の運転者の反応を実験により調べることにした。

また、運転者が自動車を運転する場合には、これまでもにおいても車速計等を見るなどして短時間のわき見を行いながら運転をしてきている。車室内の表示装置を全く見ないで運転するというのも現実的な話ではない。従って、運転者にとって、通常どの程度のわき見ならば危険と感じないかを調べるもう一つの走行実験を行った（以下、「わき見動作実験」という）。さらに、この実験結果を基にして、通常行われるわき見運転時の反応時間を計算により求め、わき見運転をしていないときと比較してどの程度ブレーキ操作が遅くなるのかの検討を行った。通常行われるわき見については短時間のものが多いことから、先行車両のストップランプをタイミングよく点灯させる実験を実施することが困難であるため、計算により反応時間の検討を試みたものであ

る。

3.2 ブレーキ反応実験

3.2.1 実験方法の概要

2台の車両（観測車両と先行車両）を使用して、観測車両の運転者（観測者）が先行車両のストップランプ点灯に気がついたら、アクセルペダルからブレーキペダルに足を踏み替えて車両を停車させる。

観測車両のアクセルペダルとブレーキペダルには、テープスイッチがセンサとして貼られており、このテープスイッチが踏まれると車室内後方に設置した計測用ランプ（LED）が点灯するようにしている。

計測用の実験装置として、観測車両の車室内にビデオカメラを設置して、観測者の顔面、先行車両の状況、車室内表示装置の設置状況及び上述の計測用ランプの4画面を撮影して一画面に合成して録画した。このビデオ画面上には、タイムコードジェネレータにより経過時刻が記録される。実験結果として、ビデオ画面に記録された時間記録から必要な時間が求められる。時間記録の分解能は1/60秒である。また、先行車両のストップランプ点灯は、ビデオ録画された映像から判断した。

3.2.2 表示位置

前章において調査した自動車用ナビゲーションシステムの表示装置等の車室内の搭載位置を参考にして、今回は、7種類の表示位置を設定した。基準アイポイント（単眼）を原点として、各表示位置（表示画面の中心位置）を視角で表現すると表3-1のようになる。（水平方向に関しては左方向に対する角度をプラス、また、垂直方向に関しては下方向に対する角度をプラスとしている。）また、図3-1に各表示位置を図示している。ここで、基準アイポイントとは、前章で説明したように、運転者の眼の位置の統計的分布を基にして運転者の眼の位置を代表する点として定められたものである。

これらの表示位置の中で、例として表示位置1, 3, 4, 7を写真により示す（図3-2）。表示位置7は自動車メーカーのナビゲーションシステムの表示装置の搭載位置に近い表示位置となっている。また、車両販売後のアフターマーケットで運転者が

表示装置をインストルメントパネルの上部に設置するという場合も考えられるので、これに対応して表示位置 1, 2, 3 を設定した。

また、この他、表示装置を観測者に見させるのではなく、観測者に正面前方を見させるようにして、すなわち、先行車を見続けるようにさせて、わき見運転とならないような実験も行った。

表 3-1 7 種類の表示位置

各表示位置	水平方向	垂直方向
表示位置 1	39 度	15 度
表示位置 2	33 度	15 度
表示位置 3	26 度	15 度
表示位置 4	39 度	27 度
表示位置 5	33 度	27 度
表示位置 6	39 度	36 度
表示位置 7	33 度	36 度

3. 2. 3 表示内容

周辺視の実験を行う際には、中心視として何を見させるかが重要な問題となる。中心視に対して注意が集中する場合には、有効視野の範囲が狭くなるということが知られている(3.4.5)。今回の実験に際しては、ナビゲーションシステムの表示装置を想定することから、それと類似の負荷を与えるようにする必要がある。また、単に表示装置を見るように指示をただけでは、観測者が実際にその方向を見ていない可能性がある。これらのことを考慮して、表示される一桁の数字を読み上げさせることにより、確実に表示装置の方を見させるようにした。すなわち、パソコンにより 1 秒ごとに一桁の数字(縦方向 6 mm)を表示画面のほぼ中央に呈示して、観測者に読み上げさせるというようにした。表示内容は黒色の背景に緑色の数字であり、表示画面に対して垂直方向から測定した表示部分の輝度は約 8.0 cd/m²(色度座標は x=0.280, y=0.643, ここで、色度座標とは色を数値的に表現するための 1 つの方法である)であった。なお、

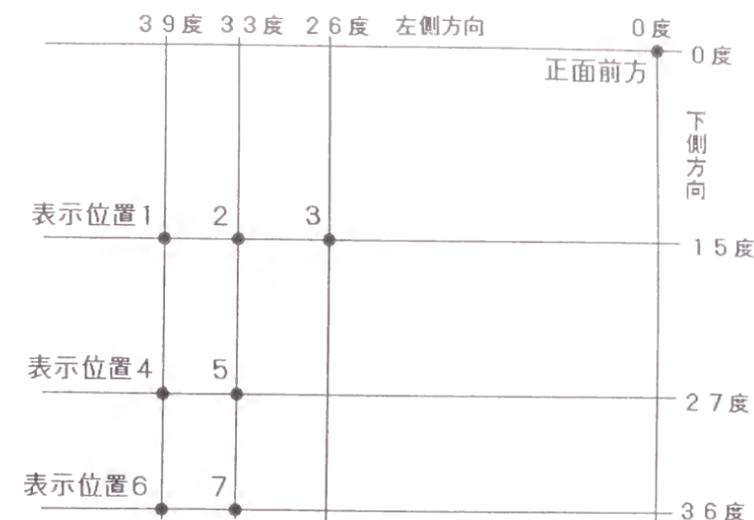


図 3-1 表示位置

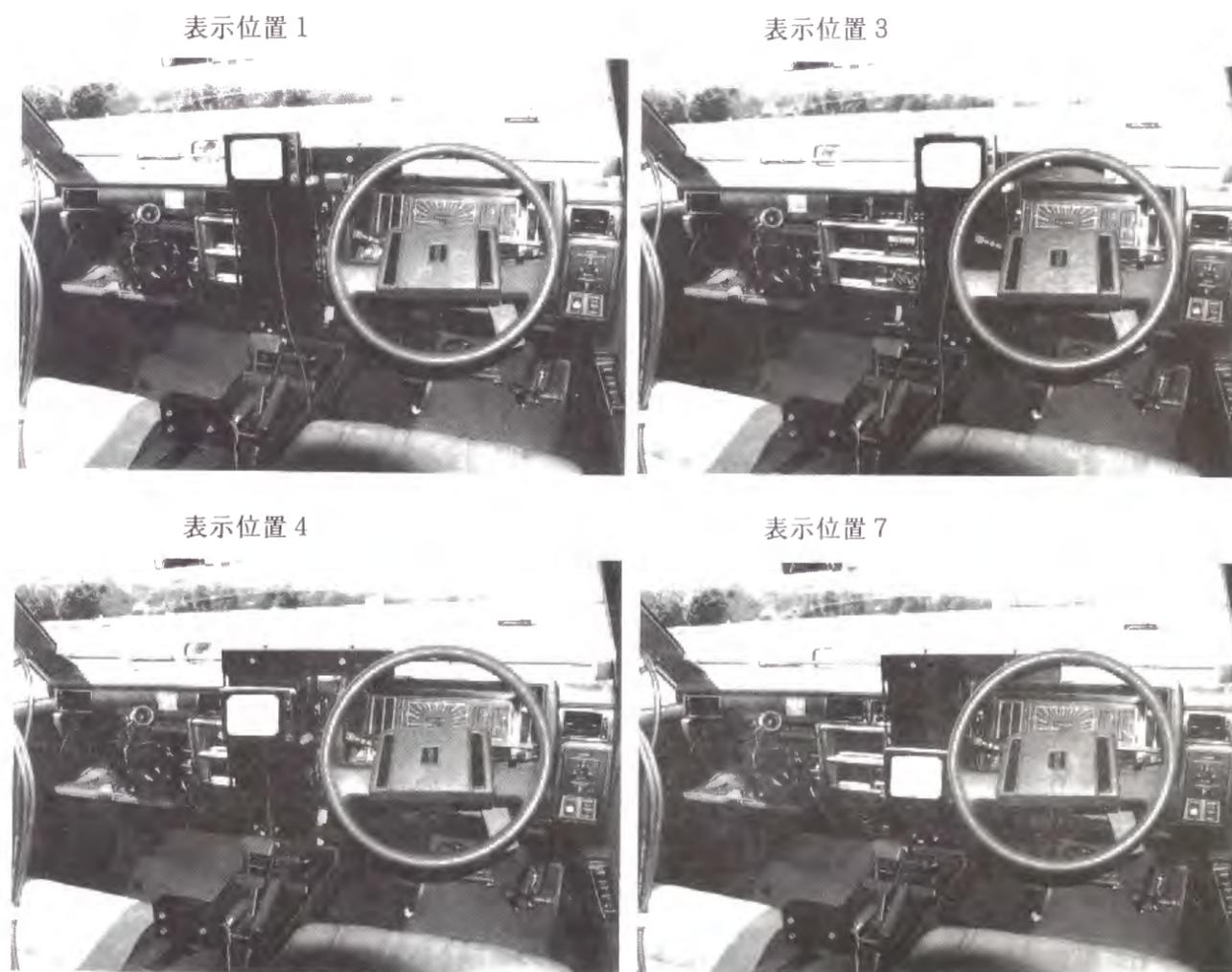


図 3-2 表示位置の例

実際のナビゲーション装置の表示文字の大きさが約5または6mmのものが多いことを考慮して、表示する数字の大きさを設定した。

3. 2. 4 実験手順

埼玉県熊谷市にあるテストコースにおいて走行実験を行った。観測者が乗車する観測車両と先行車両との2台の車間距離は約20から30mとし、走行速度に関しては40km/h、60km/h及び80km/hの3種類とした。

実験にあたっては、次の(1)から(6)の手順を繰り返した。

(1) 観測者の乗った観測車両が走行を開始して、指示された速度まで加速する。先行車両は観測車両の動きにあわせて、車間距離を保ちながら走行する。

(2) 指示された速度に達した後、観測者は表示装置の方に視線を移動して一桁の数字を読み始める。

(3) 観測車両に同乗する実験実施者が、先行車両の実験実施者に無線により合図を送る。

(4) 先行車両の実験実施者が、手動により無作為のタイミングでストップランプを点灯させる。このストップランプは、通常のブレーキとは別に、先行車両の実験実施者が自由に点灯させることができるものである。

(5) 観測者は先行車両のストップランプ点灯に気がついた時点で、アクセルペダルからブレーキペダルに足を踏み替えて観測車両を停止させる。

(6) 先行車両もあわせて停止する。

先行車両のストップランプの光度については、左右の平均で約83cd(色度座標は $x=0.685$, $y=0.314$)であった。また、ハイマウントストップランプは装備されていない車両であった。

ビデオ画像からの解析データとしては、先行車両のストップランプが点灯した時点から観測者がブレーキペダルを踏む時点までの時間(以下、「反応時間」という)とアクセルペダルを離してからブレーキペダルを踏むまでの時間(以下、「踏み替え時間」という)の2種類とした。

実験を行う際、観測者が表示装置の方を注視した場合、表示位置によっては、前方を全く認知できないという実験条件もあった。このため、できるだけ長く見続けるよ

うに指示はしたものの、走行上必要であれば、前方に視線を戻してかまわないとした。従って、今回の結果については、先行車両のストップランプが点灯したときに気がついて観測者が反応する場合と、ストップランプが点灯したときに気がつかないで視線を前方に戻したときに初めてストップランプ点灯に気がつくという場合とが混在した結果となった。

3. 2. 5 その他の実験条件

観測者は男性8名、女性4名の計12名(平均年齢31.9歳、20代観測者8名、40代観測者4名)であり、いずれも色覚正常者であった。

各実験条件で2回繰り返したので、1つの表示位置における測定回数は、各走行速度ごとに24回(12名×2回)となった。全体の実験回数は、表示位置8種類(正面前方を見ている場合も含む)であるので、計576件(各表示位置の実験回数24回×表示位置8種類×走行速度3種類)となった。しかし、アクセルペダルのテープスイッチからの信号が不安定なためうまく信号計測ができない件数が5件あったので、解析の対象となる件数は571件となった。

実験時の天候は晴れまたは曇りであって、照度計を天頂方向に向けて測定した水平面照度は、約600から100,000lxの範囲であった。

また、このほか、表3-2に示す評価尺度を用い、各試行ごとに観測者に不安感の程度を回答させた。

表3-2 不安感に関する評価基準

評価値	評価基準
0	全く不安を感じない
-1	やや不安である
-2	かなり不安である
-3	非常に不安である
-4	極めて不安である

3. 3 ブレーキ反応実験の結果及び考察

3. 3. 1 ストップランプ点灯に気がつくかどうかについての観測者の意見

表示位置によって、先行車両のストップランプ点灯に気がつく場合と気がつかない場合があるので、実験終了後に観測者に対して気がつくかどうかに関する意見を求めた。今回の実験においては、各試行ごとに先行車両のストップランプ点灯に気がついたかどうかを回答させなかったため、一連の実験終了後に各表示位置に関する意見を求めることとなった。観測者の意見はほぼ共通しており、表示位置6、7については、その方向を見ていると先行車両のストップランプ点灯に気がつかないという意見であった。表示位置1、2、3については、気がつく場合と気がつかない場合との両方があるという意見であった。表示位置4、5については、気がつかない場合が多いものの、時として気がつくことがあるという意見であった。

3. 3. 2 踏み替え時間

踏み替え時間に関して、各表示位置ごとの平均を示すと図3-3のようになる。これらはいずれも3種類の走行速度のデータの集計である。正面前方を見ているときの踏み替え時間がもっとも短く(0.26秒)、もっとも長い場合が、表示位置7の場合の0.32秒である。平均の差に関するt検定を行うと、正面前方を見ている場合と表示位置6、並びに、正面前方を見ている場合と表示位置7の間において、踏み替え時間の差が認められた(有意水準5%)。しかし、表示位置による踏み替え時間の差をみると、正面前方を見ているときと比較して、表示位置7の場合においても0.06秒の差であるので、実際の運転時を考えれば実質的な差はないと考えてよい。踏み替え時間に関しては、先行車両のストップランプ点灯に気がついて足をアクセルペダルから離してから時間であるから、表示位置による差は顕著ではないと考えられる。

3. 3. 3 反応時間

走行速度による反応時間の差異をまず最初に調べる。各走行速度について反応時間の平均を求めると図3-4のようになる。

表示位置1、2、3の場合よりも表示位置6、7の場合の方が反応時間が長いというように、全体的に、表示位置が正面前方から離れるに従い反応時間が長くなる。こ

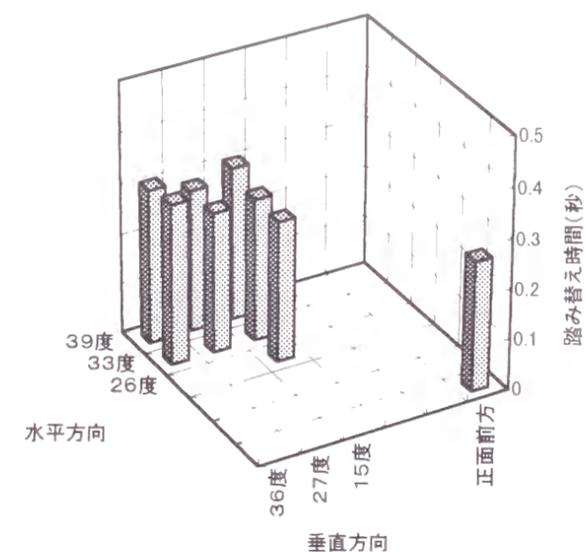


図3-3 踏み替え時間

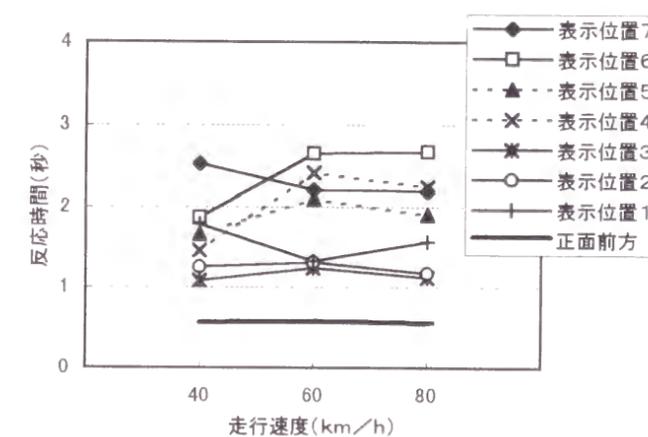


図3-4 走行速度による反応時間の差

これは、先行車両のストップランプが点灯したときに気がつかない割合が増加するためであると考えられる。

走行速度の影響について調べると、すべての表示位置（正面前方を含む）において、3種類の走行速度40、60、80 km/hの間で反応時間の差は認められない（有意水準5%によるt検定）。従って、これ以後、走行速度40、60、80 km/hのデータの集計により検討を行うこととする。

反応時間の度数分布を、各表示位置ごとに図示すると図3-5のようになる（ここで、たとえば0.4~0.6の項は0.4超かつ0.6以下の値のデータが入る）。この中でたとえば、正面前方を見ているときの反応時間は、平均で0.57秒（標準偏差0.21秒）である。この値は、従来から得られている値とほぼ同じ値であった（6.7）。

これらの度数分布が正規分布をしているかどうかについて、「対象となる度数分布が正規分布をしている」という仮説をたてて、 χ^2 分布検定⁸⁾により調べる。その結果、ここで示された度数分布については、いずれの表示位置の場合にも正規分布であるとの仮説は棄却された（有意水準5%）。一方、横軸で表される時間軸を常用対数に変換して（以下、「対数時間」という）、度数分布を求めると図3-6のようになる。対数時間に関する度数分布については、表示位置6の場合を除いて、正規分布であるという仮説を棄却できなかった（有意水準5%）。従って、対数時間に関して、反応時間は正規分布をすると考えられる。今後、必要に応じて、対数時間に関するデータについて検討することにする。

ここで、反応時間の度数分布について、実時間に関して正規分布であることが棄却されたので、実時間における平均の差に関するt検定は厳密な意味では成り立たない。しかし、比較する2群のデータ数が等しい場合には、正規性が少々崩れていても大きな影響を与えないことが明らかとなっており⁹⁾、前述のt検定の結果についても全く無意味とは考えずに、参考として理解しておくのがよい。ちなみに、対数時間に変換した後の反応時間について走行速度による差の有無を調べると、3種類の走行速度の間で反応時間の差は認められなかった（有意水準5%によるt検定）。

3. 3. 4 先行車両のストップランプ点灯に気がつく割合についての考察

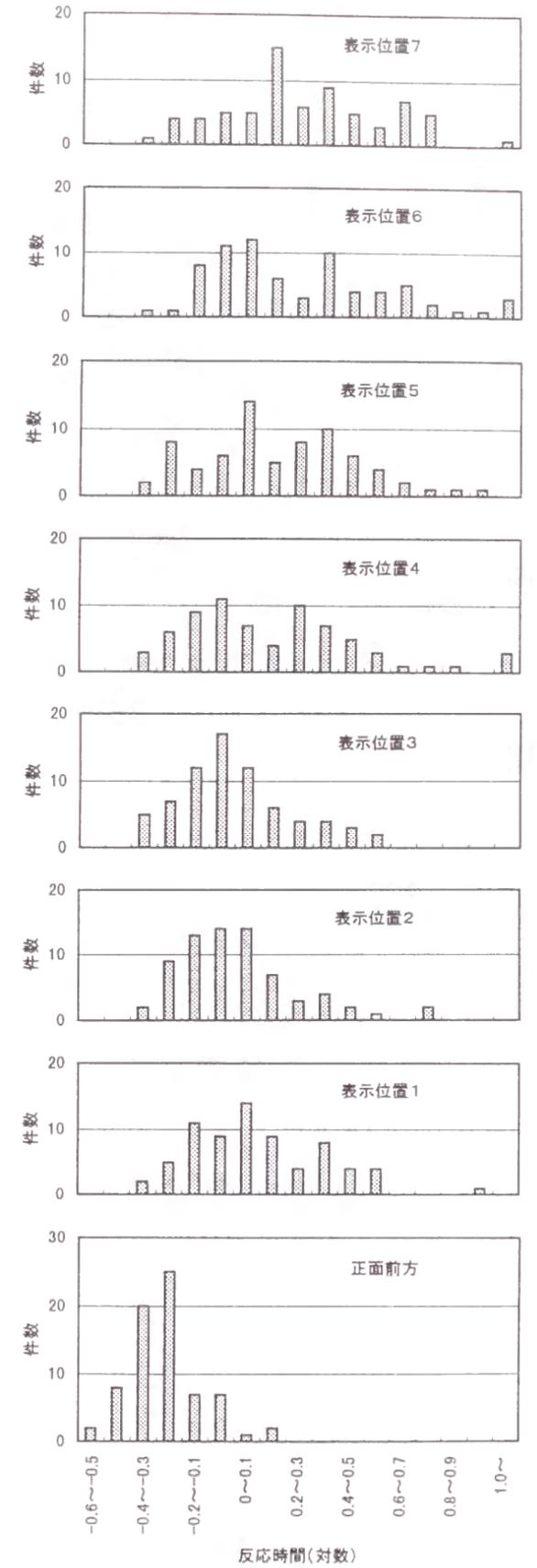
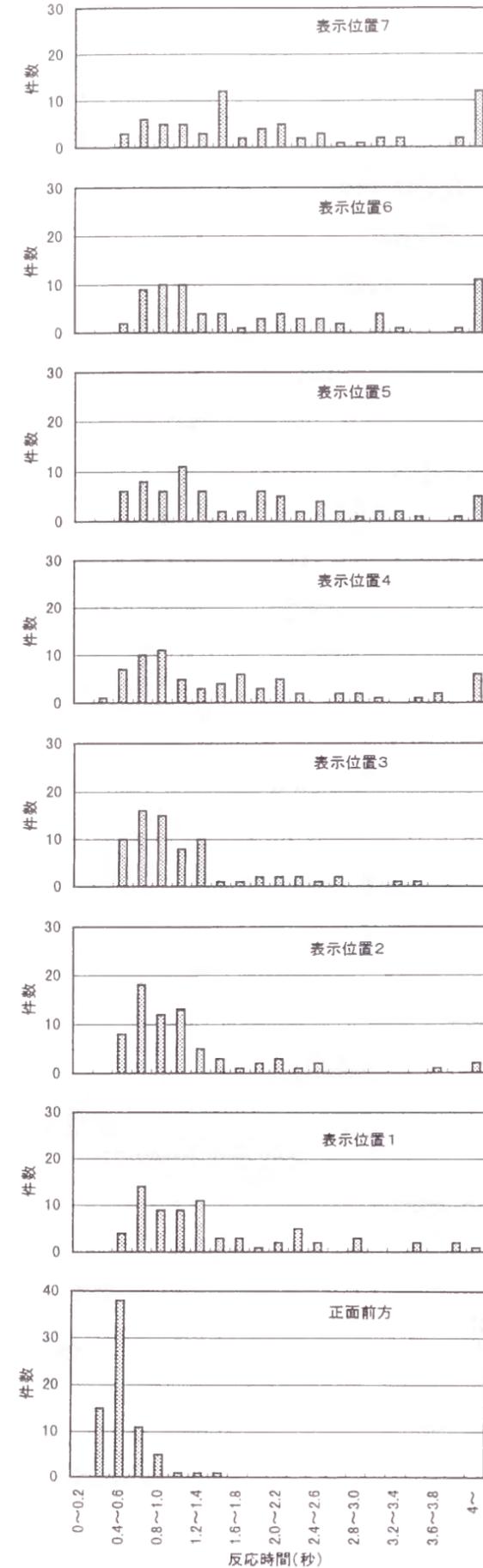


図3-5 反応時間の度数分布（実時間）

図3-6 対数時間における反応時間の度数分布

今回の実験においては、先行車両のストップランプ点灯に気がつくかどうかについて、実験終了後の意見として聴取したものの、毎回の試行ごとに確認しなかったため、気づいた件数を厳密に求めることはできない。従って、以下のような検討を行うこととする。図3-5に示されるように、正面前方を見ているときは反応時間はほとんどが1.0秒以下である。この場合、1.0秒を超える場合は3件のみである。従って、ストップランプが点灯したときに気づいた場合には、ほぼ1.0秒以下で反応することが可能であると考えられる。正面前方を見ているとき以外の場合、先行車両のストップランプが点灯したときにいつも気がつくとは限らないので、反応時間が長い件数が多くなる。

この1.0秒の根拠に関しては、次のようにも考えられる。一般的に、正規分布については「平均-2×標準偏差」と「平均+2×標準偏差」との区間に、分布の95.5%が含まれる。今回、対数正規分布で表した図3-6において、正面前方を見ているときの値を基に平均と標準偏差を求めるとそれぞれ、-0.2700と0.1388となる。これらの値から「平均+2×標準偏差」を求めると0.0076となる。従って、この値を超える件数については、その割合は対数正規分布に関して全体の約2.3%となる。従って、ストップランプ点灯に気がついてしかも対数時間の0.0076を越えて反応する例はまれであると考えられる。この値を実時間に変換すると1.018秒となり、ほぼ1.0秒となる。いま、反応時間が1.018秒を超える場合を、ストップランプ点灯に気がつかなかった場合と考え、各表示位置に関してその件数及び比率を求めると表3-3のようになる。

表に示されるように、表示位置が下の方になるにつれて気がつかない件数が増加する。表示位置6、7の場合においては、観測者の実験終了後の意見では、その方向を見ている場合には先行車両のストップランプ点灯に気がつくことはないというふうであったので、その比率はほぼ100%に近い値を示すべきものと考えられる。しかし、上述の結果からは、約7~8割の件数にとどまっている。この原因として、表示装置をできるだけ長く見続けるように指示しているものの、走行上必要であれば、前方に視線を戻してもかまわないとしたため、偶然前方に視線を移動した場合に先行車両のストップランプが点灯した場合があり、その結果、反応時間が短くなったという件数

が含まれるためであると考えられる。

このことを考えると、インストルメントパネルの上部のあたりで正面前方に近い表示位置2、3であっても、表示に気がつく割合は約半分程度であると考えられる。

表3-3 ストップランプ点灯に気がつかなかった件数

各表示位置	件数 (比率)
表示位置1	44件 (62%)
表示位置2	33件 (47%)
表示位置3	31件 (43%)
表示位置4	42件 (59%)
表示位置5	52件 (72%)
表示位置6	51件 (71%)
表示位置7	56件 (80%)

3.3.5 周辺視の場合の反応時間

これまで述べた観測者12名のほかに、薄暮時の曇天(一時雨)という著しく異なった条件で実験を行った観測者がいた。この場合、先行車両のストップランプ点灯に気がつきやすくなっており、表示位置1、2、3に表示装置を設置した場合には、全試行において周辺視によりストップランプ点灯に気がついていて、このときの反応時間の平均を示すと、

正面前方を見ているとき 0.63秒(標準偏差0.05秒)

表示位置1の場合 0.71秒(標準偏差0.18秒)

表示位置2の場合 0.63秒(標準偏差0.05秒)

表示位置3の場合 0.59秒(標準偏差0.04秒)

となり、表示位置による差はほとんどなかった。従って、周辺視であってもストップランプ点灯に気づいた場合には、反応時間は中心視の場合とほぼ変わらないと考えられる。浅見²⁾によれば、中心視の場合と比較して周辺視の場合には、反応時間が長くなると報告されているが、その差は約0.03秒であるとされており、実際の自動車

観測者が正面前方を見ている状態から表示装置の方に視線を移動するのに要する時間を、4種類の走行速度におけるデータの集計として求めると、平均0.17秒（標準偏差0.05秒）となる。また、表示装置を注視している時間は平均1.05秒（標準偏差0.44秒）、表示装置から正面前方に視線を移動する時間は平均0.16秒（標準偏差0.04秒）となる。つまり、正面前方から視線を移動してまた正面前方を見るまでの時間（以下、「わき見時間」という）は平均1.38秒（標準偏差0.44秒）である。

この実験結果から、運転者は約1.4秒前後の時間であれば、通常走行時、何の不安もなくわき見を行っていると考えられる。

このわき見時間について走行速度別に示すと図3-8となる。走行速度によるわき見時間の差は、走行速度20km/hと80km/hにおいて認められたが、他の走行速度間では認められなかった（有意水準5%によるt検定）。従って、図から判断すると走行速度が高くなるにつれてわき見時間は減少する傾向はあるものの、特に顕著ではないと考えられる。

なお、このわき見時間に関して度数分布を示すと、実時間に関して図3-9、対数時間に関して図3-10となる。正規分布であるかどうかについて χ^2 分布検定を行うと（有意水準5%）、実時間に関する度数分布に関しては「正規分布である」という仮説が棄却された。しかし、対数時間に関する度数分布については仮説は棄却されなかった。従って、対数正規分布であると考えられる。

3.5 わき見運転時の反応時間の解析

3.5.1 計算式の提案と解析結果

前節で述べたように、運転者は通常走行時においても危なくない範囲で短時間のわき見を行っていると考えられる。このような場合に、どの程度の反応時間の遅れが発生するのかを計算により解析する。

この解析にあたっては、車室内の表示装置を見ているときには先行車両のストップランプ点灯に気がつかず、正面前方に視線を戻したときに初めて先行車両のストップランプ点灯に気がつくという前提で考える。つまり、表示装置を見ているも周辺視に

より先行車両のストップランプ点灯に気がつくという状況は、この解析の対象ではない。

t秒間のわき見をするとき、もっとも早く気がつくのは、視線を戻したときに先行車両のストップランプが点灯する場合であり（この場合、気がつくまでの時間は0秒である）、もっとも長くかかるのは視線を表示装置の方に向け始めた時にストップランプが点灯する場合である（この場合、気がつくまでt秒間かかることとなる）。従って、0秒からt秒までの範囲で先行車両のストップランプ点灯に気がつくこととなり、その確率密度は $1/t$ という一様分布となる。

実際のわき見時間tについては、前節で述べたように図3-9または図3-10のような分布となる。この分布から求めたわき見時間の確率密度関数をf(t)とする。この確率密度関数を考慮すると、先行車両のストップランプ点灯時から、運転者が視線を正面前方に戻してストップランプ点灯に気がつくまでの時間の確率密度関数Q(s)は、以下の式で表される。

$$Q(s) = \int_s^{\infty} \frac{f(t)}{t} dt \quad \dots (3-1)$$

ストップランプ点灯に気がついてから運転者はブレーキペダルを踏むこととなるが、その動作は、正面前方を向いてブレーキ点灯に気がついた後の動作であるので、最初から正面前方を見ている場合の動作とほぼ同じであると考えられる。従って、気がついてからブレーキペダルを踏むまでの時間に関する確率密度は、正面前方を見ているときのデータ（図3-5または図3-6）から得られるものとなる。この確率密度関数をg(t)としたとき、わき見時の反応時間（先行車両のストップランプ点灯時から運転者がブレーキペダルを踏むまでの時間）に関する最終的な確率密度関数R(t)は、以下のようにQ(s)とg(t)の畳み込み積分で求められる。

$$R(t) = \int_{-\infty}^{\infty} Q(s)g(t-s)ds \quad \dots (3-2)$$

さて、式(3-1)によりストップランプ点灯に気がつくまで（すなわち、先行車

両のストップランプ点灯時から運転者が正面前方を向くまでの時間)の確率密度を求めて図示すると図3-11のようになる。また、わき見時の反応時間に関する確率密度を式(3-2)により求めて図示すると図3-12のようになる。両図とも縦軸の単位は1/秒である。これらの計算を行うにあたり、 $f(t)$ と $g(t)$ の値については、それぞれ対数正規分布で近似されることを利用して必要な値を求めている。なお、図3-11、図3-12中の確率密度については、時間軸について積分した値が1となるようになっている。

図3-12には、最初から正面前方を見ているときの反応時間(実験結果)を対数正規分布により近似して実時間に変換したのもあわせて示している。この正面前方を見ているときの反応時間について、平均と95パーセントイルの値を求めると、それぞれ0.63秒と1.00秒となる。一方、わき見運転時の反応時間に関しては、平均1.37秒、95パーセントイルの値は2.33秒となる。95パーセントイルで考えるということは、反応時間の長い方の5%の運転者について、正面前方を見ているときは1.00秒よりも長い反応時間となり、わき見運転をしているときは2.33秒よりも長い反応時間となることを示している。

上述のように、正面前方を見ているとき(わき見をしていないとき)と比較して、通常のをき見をしているときは、平均では0.74秒長くなり、95パーセントイルで比較すると1.33秒長くなる。平均で比較するよりも、95パーセントイルで比較した方が両者の差が大きくなる。これは、わき見運転時の反応時間の分布が時間軸に関して横に広がった形状となっており、特に、右側の方に分布がのびているためである。

なお、前述のように対数正規分布で $f(t)$ と $g(t)$ の分布を近似をするのではなく、実時間のデータを正規分布で近似した場合の反応時間の計算結果を図3-13に示す。同図には、図3-12中の対数正規分布で近似した結果も示している。これから、実時間での正規分布で近似した結果も対数正規分布で近似した結果と類似していることがわかる。これは、実時間においても $f(t)$ と $g(t)$ の分布が正規分布から大きく異なっていないためであると考えられる。

以上のように、運転者が通常のをき見を行って、しかも周辺視により前方の交通状

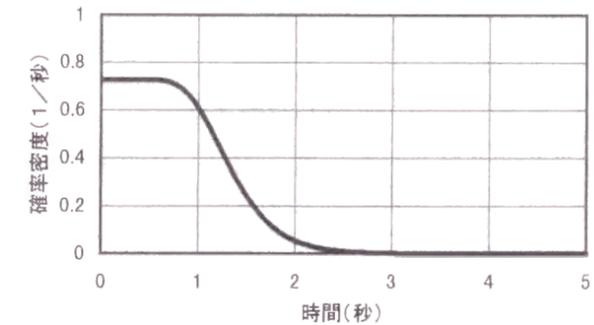


図3-11 ストップランプ点灯に気がつくまでの時間の確率密度(計算結果)

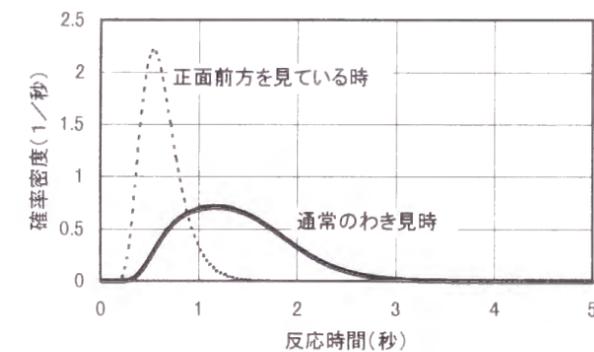


図3-12 わき見時の反応時間の確率密度(計算結果)

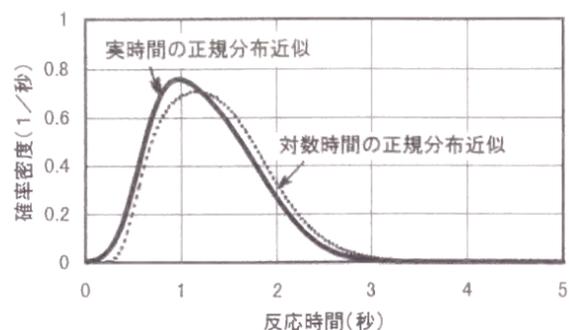


図3-13 実時間における正規分布近似を行った場合の反応時間

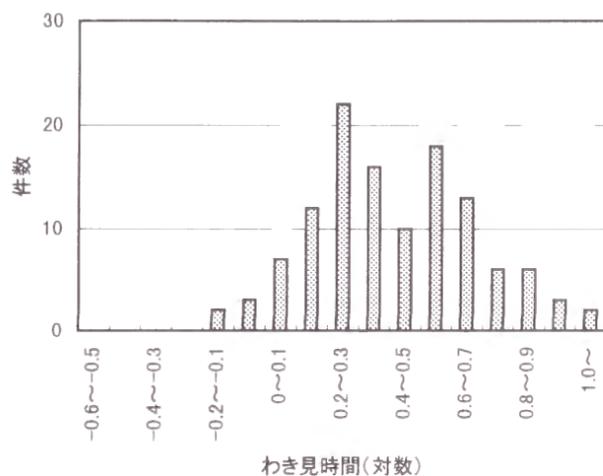


図3-14 できるだけ長く見る場合のわき見時間の度数分布

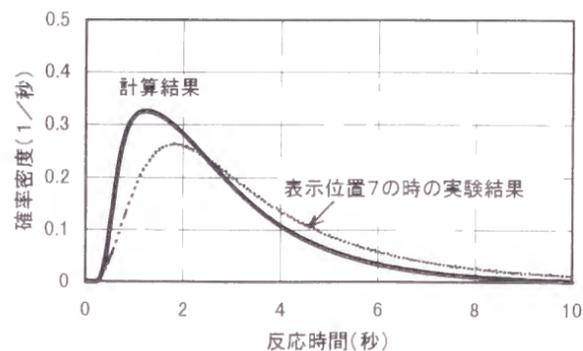


図3-15 できるだけ長く見る場合の反応時間

況に気がつかない場合には、正面前方を見ているときと比較して反応が遅くなることを定量的に明らかにすることができた。

3. 5. 2 解析方法の妥当性

上述の計算による解析結果の妥当性を検討するためには、通常のみ見を行っているときに先行車両のストップランプを点灯させるという実験を行わなければならない。しかし、通常のみ見時間は1.4秒程度の短い時間であるので、のみ見を行った瞬間に先行車両のストップランプを点灯させるというような実験は実際上実施できない。従って、今回の計算結果に関して、実験による検証は極めて困難であるといえる。

さて、3.2節、3.3節で述べたブレーキ反応実験においては、できるだけ長く表示装置を見続けるように観測者に指示をしていた。そこで、計算結果と実測値との比較を、「できるだけ長く見る」という実験条件で行うことを試みた。3.4節で述べた運転者に対して、表示装置を「普通に見る」という感覚で見させる場合のほかに、危なくない範囲でできるだけ長く表示装置を見続けさせるという実験を行った。この場合、正面前方から視線を移動してまた正面前方を見るまでの時間は平均3.12秒（標準偏差2.02秒）となった。また、対数正規分布であることが確認された（図3-14）。こののみ見時間に関する分布の結果を基に、式(3-1)、(3-2)により反応時間の計算結果を求めると図3-15のようになる。同図には、3.3節の実験結果のうち、表示位置7を見させた場合の反応時間を対数正規分布で近似して実時間に変換したものも示している。3.2節及び3.3節における実験では表示装置上の一桁の数字を読ませ、一方、3.4節における実験では表示装置の方を見させるだけというように観測者に対する負荷の条件が異なる等実験条件が同じではないので、厳密に両者の比較をすることはできない。しかし、表示装置の方をできるだけ長く見させてのみ見運転をさせた場合の反応時間としては、両者はほぼ類似していると考えられる。従って、前項で述べた計算による解析方法がほぼ妥当であると推定できる。

3. 6 まとめ

今回の実験結果及び計算により得られた結果を以下の(1)から(6)に示す。

- (1) アクセルペダルからブレーキペダルに足を踏み替えるための踏み替え時間は約 0.3 秒であり、表示位置による差は顕著ではない。
- (2) 先行車両のストップランプ点灯に気がついてからブレーキペダルを踏むまでの反応時間については、走行速度による差は認められない。また、正面前方を見ているときの反応時間は、平均で 0.57 秒（標準偏差 0.21 秒）である。表示位置が正面前方から離れるにしたがい反応時間が長くなるが、これは、先行車両のストップランプが点灯したときに気がつかない割合が増加するためであると考えられる。
- (3) 実験後の観測者の意見から判断すると、表示位置 6、7 については、その方向を見ている場合には、前方の先行車両のストップランプ点灯に気がつくことはほとんどないと考えられる。
- (4) インstrument パネルの上部付近である表示位置 2、3 については、その方向を見ている場合に先行車両のストップランプ点灯に気がつく割合は約半分程度である。また、その割合は、周囲の明るさ等にも関係していると考えられる。
- (5) 観測者が「普通に見る」という感覚で表示装置を見る場合、前方から表示装置へ視線を移動させるのに要する時間は 0.17 秒、表示装置を見ている時間は 1.05 秒、表示装置から前方に視線を戻すのに要する時間は 0.16 秒となり、合計 1.38 秒となる。この程度のわき見であれば、観測者は通常危険を感じることなく行っているものと考えられる。
- (6) 通常行われるわき見運転時の反応時間を計算により求めると、正面前方を見ている場合（平均で 0.63 秒）と比較して、わき見運転時には平均で 1.37 秒となり 0.74 秒長くなる。95 パーセントイルで比較すると、正面前方を見ている場合には、1.00 秒であるものが、わき見運転時には 2.33 秒となり 1.33 秒長くなる。

以上のように、表示装置を注視している場合には、前方の道路交通状況を把握することは困難である場合が多く、また、通常行われるわき見運転時であっても反応時間が長くなることが計算により定量的に明らかになった。

第 4 章 経路誘導地名の判読性

4.1 はじめに

ナビゲーションシステムの表示情報に関してはこれまでも多くの研究が行われてきているが^{1,2,3,4)}、本論文においては、ナビゲーションシステムの表示情報のうち、これまでほとんど扱われてこなかった地名表示の判読性について検討を行う。第 1 章で述べたように、表示情報を読みとる場合には、運転者の必要に応じてさまざまな状況が考えられる。たとえば、運転中に交差点に近づいた場合には、どの進路をとるべきかが瞬時に理解できるものでなければならない。一方、地図上に目的地が含まれているかどうか、または、およそどの方向に目的地があるのかを理解できればよいという場合もある。

本章では、このうち、交差点における経路誘導と関連する 3 個の地名を表示した場合の読みとり時間を調べる実験について記述する。

この種の読みとり時間に関しては、表示位置や表示内容等の様々な要因が関係している。たとえば、前面窓ガラスを利用して表示する HUD の場合には、視線移動量が少ないため、表示装置を通常のダッシュボードに組み込んでいる場合と比較して、読みとり時間が少なくなると予想される。また、表示装置側の問題ばかりでなく、運転者の問題として、運転者の年齢により読みとり時間が異なることも予想される。

従って、本研究では、表示内容として、経路誘導と関連する地名を表示した場合に、その表示位置、表示文字の大きさ、観測者の年齢等の条件を変化させ、読みとり時間がどのように変化するかを主に室内実験により調べることにした。

4.2 経路誘導地名の判読性に関する室内実験内容

4.2.1 実験装置

照明を消した暗室内で室内実験を行った。実験装置については、表示装置のほか、前方に道路風景を投影するビデオプロジェクタ及び実験条件を制御しデータの記録を行うパソコン等から構成される。全体の実験状況を図 4-1 に示す。

(1) 表示装置

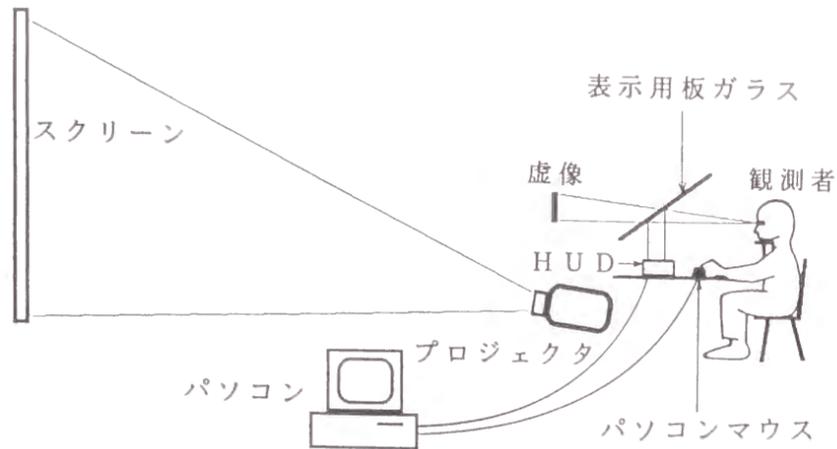


図4-1 実験状況

実験に使用した表示装置は、HUD方式のものとダッシュボード上に搭載される通常の液晶表示のものとの2種類とした。

HUD方式の構造については、HUDの装置内に組み込まれた表示像作成用の液晶画面の背後から光をあてて透過光とし、この透過光を観測者の前方に設置した表示用板ガラスにあてて虚像として呈示するものである。表示用板ガラスは、表面を酸化チタンにより蒸着した反射率20%のもので、水平面から31度傾斜させて設置した。この場合の観測方向からの板ガラスの透過率は72%であった。

ダッシュボード上の通常の液晶表示方式については、5.6インチの大きさの液晶TVの表示画面を利用して表示するものである。

(2) 表示位置

HUDの表示位置に関しては、観測者が正面前方をまっすぐ見たときの方向を観測者の中心視の方向と定義して、図4-2に示すように、この方向に表示する場合（以下、「HUD中心表示」という）と図4-3に示すように、中心視の方向から左方向に7.0度、下方向に2.3度ずれた、周辺視の位置に表示する場合（以下、「HUD周辺表示」という）との2種類とした。観測者の目の位置と虚像との距離は、HUD中心表示の場合に、1.65mであった。HUD中心表示、HUD周辺表示とも前方に投影される道路風景上に重なって表示像が観測された。

通常の液晶表示の表示位置は、中心視の方向から左方向に31度、下方向に24度ずれた位置（以下、「液晶周辺表示」という）とした。この場合、液晶表示は前方の道路風景と重なり合わず、左下の方向に観測された。また、観測者の目の位置から液晶表示面までの直線距離は0.84mとした。

(3) 道路風景

室内実験に先立ち、実際に道路を走行したときの前方道路の状況を自動車室内からビデオカメラにより撮影した。室内実験を行う際に、道路走行状態を模擬するため、観測者の前方約5.6mの位置にある白色スクリーンにこの道路風景を投影した。スクリーンに投影された道路風景の輝度に関しては、測定対象により異なるものの、表示用板ガラスを通して測定した結果、道路、交差点等については、3~5 cd/m²、白っぽい車両の後面部で3~7 cd/m²、黒っぽい車両の後面部で1~4 cd/m²程度で



図4-2 HUD中心表示の例



図4-3 HUD周辺表示の例



図4-4 地名表示の例

あった。

(4) 観測者の観測位置

観測者は、高さ1.00mのあご台にあごを乗せて頭部の位置を決め、前方に表示される像を観測した。ただし、観測者はあご台にあごを乗せているが、視線の方向については中心視の方向を注視するのではなく、自由に道路風景を見るようにしているため、観測中いつも中心視の方向を見ているとは限らない。

(5) データ解析装置

表示像の作成、実験条件の制御、データの解析等にパソコンを使用した。表示像をあらかじめ作成してパソコン内のハードディスク上に保存し、実験のたびに表示像を選定して、HUDまたは通常の液晶表示に表示像を送出した。また、マウスのボタンを観測者が押下することにより、読みとり時間が自動的にパソコンに計測記録されるようにして、後で読みとり時間に関する解析を行った。読みとり時間の分解能は1/1000秒である。

4.2.2 表示内容

本実験においては、交差点における経路誘導を想定して地名を表示している。地名に関しては、東京地域の地名を30個選択し、一回の表示で3個の地名を呈示した。3地名とした理由は、通常の交差点では、直進、右左折の3方向が考えられるためである。地名表示の例を図4-4に示す。

HUDの表示地名の大きさについては、1文字あたりの縦方向の大きさを視角で表現して、0.57度、0.70度、0.83度及び1.02度の4種類である。表示像全体の大きさは、縦方向に3行分、横方向に6文字分の大きさに相当する。

以下、各大きさについて、1文字あたりの縦方向視角を基にして、「0.57度の大きさ」等とよぶことにする。また、今回の地名表示の色はいずれも緑色（色度座標は $x=0.277$, $y=0.593$ ）である。表示の明るさに関しては、HUDの場合、前景道路風景の明るさとの関係を考慮して、約70 cd/m²の輝度の1種類とした。ただし、この測定値は、暗室内で表示像の輝度を単独に測定した値であって、道路風景の明るさの影響を受けていない値である。

通常の液晶表示の場合には、表示の明るさについて予備実験を行った結果、観測時

にまぶしく感じないように約40 cd/m²とした。表示地名の大きさは、HUDの場合の0.83度の大きさと同等の1種類（液晶画面上の1文字あたりの縦方向は約12 mm）とした。また、色は緑色（色度座標は $x=0.274$, $y=0.598$ ）である。

4.2.3 実験方法

(1) 実験手順

実験にあたっては、次の(a)から(e)の手順を繰り返した。

- (a) 観測者は地名が表示されていない状態のスクリーン上の道路風景を見ている。
- (b) 実験実施者がパソコンのキー操作により不意に3地名を表示する。
- (c) 観測者は呈示された3地名を読みとり、読み終わった段階でパソコンのマウスのボタンを押下する。
- (d) ボタン押下と同時に表示像が消え、読みとり時間がパソコンに自動的に計測記録される。
- (e) 観測者は読みとった3地名を実験実施者に口頭で告げる。

ここで、読みとり時間に関しては、表示を呈示した時からマウス押下時までの時間を計測しているため、厳密には、読みとりに必要な時間とマウス押下に要する時間とが合計された値である。

観測者に対しては、「表示地名をできるだけ早くかつ正確に読みとる」ように指示をした。従って、解析項目は、読みとり時間と読みとりの正確さの2種類となる。

(2) 実験条件

実験内容に関しては、HUD中心表示、HUD周辺表示及び液晶周辺表示の3種類の表示位置としたほか、以下の実験条件を含めた。

実際の運転中は、運転者がラジオ等を聞きながら漫然と運転していることもあると考えられるので、ラジオのニュースを聞かせながら観測させるとどのように測定結果が異なるのかの実験を行った。ラジオのニュースはカセットテープに録音したものを再生して観測者に聞かせた。ただし、ニュースの内容を漫然と聞かせているので、後で内容を確認するようなことはしなかった。

また、観測者に対して不意に表示を呈示する実験のほか、表示の前に予告音（ビーブ音、周波数2 kHz、観測者の位置で約80 dB(A)の音圧レベル）を聞かせて観測者に

予告した場合にどのように結果が異なるのかの実験も行った。予告音のタイミングについては、表示の1.0秒前から0.3秒間鳴らし0.7秒間の空白の後、地名を表示するというものである。この場合、たとえば液晶周辺表示の場合など、予告音と同時に表示の方向を見てかまわないと指示をした。

このように設定した実験条件に関し、以下の実験条件の順序で実験を行った。

- (a) HUD中心表示
- (b) 液晶周辺表示
- (c) ラジオを聞きながらHUD中心表示
- (d) ラジオを聞きながら液晶周辺表示
- (e) 予告音のあるHUD中心表示
- (f) 予告音のある液晶周辺表示
- (g) HUD周辺表示
- (h) ラジオを聞きながらHUD周辺表示
- (i) 予告音のあるHUD周辺表示

表示の大きさについては、「(a) HUD中心表示」の場合に表示大きさを前述の4種類に変えた実験を行った。他の(b)から(i)の実験条件に関しては、表示大きさは0.83度の大きさのもの1種類である。従って、「(a) HUD中心表示」の場合の実験結果と他の(b)から(i)の場合の実験結果とを比較して解析する場合には、表示大きさを揃えるため、「(a) HUD中心表示」の4種類の表示大きさのうち0.83度の大きさのものみの集計を行った。

実験回数は、各項目10回ずつであったが、前述のようにHUD中心表示の場合には、4種類の表示大きさを呈示したので40回となった。従って、観測者一人あたりに関して合計120回の実験回数となった。

(3) 観測者

観測者は20代10名(平均年齢24.7才, 男性4名, 女性6名), 40代10名(平均年齢44.2才, 男性6名, 女性4名)及び60代10名(平均年齢64.0才, 男性6名, 女性4名)の計30名である。いずれも色覚正常者である。

実験を進める場合には、実験内容に対する慣れや観測者の疲れが読みとり時間に及

ぼす影響は避けられないと考えられる。このため、表示地名をランダムに呈示したほか、30名の観測者のうち、15名に関しては上述の(a)から(i)に進む順方向の実験順序で実施し、他の15名については(i)から(a)に進む逆方向の実験順序で実施して、読みとり時間と読みとりの正確さに関する観測者全員の集計データから、慣れや疲れによる影響をできるだけのぞくようにした。

(4) 地名に関する親密度の調査

呈示される地名に関して、観測者によってなじみがある場合となじみがない場合とが考えられ、地名の親密度により読みとり時間に差が生じるかどうかを調査することとした。このため、観測者に対して、表4-1に示すような5段階評価で、各地名に関する親密度を実験前に調査した。

表4-1 地名の親密度の評価基準

評価値	親密度
1	非常になじみがない
2	少しなじみがない
3	どちらともいえない
4	少しなじみがある
5	非常になじみがある

4.3 経路誘導地名の判読性に関する室内実験結果

本実験で得られた3600件(実験回数120回×観測者30名)のデータのうち、20代観測者の1名について、「予告音のあるHUD中心表示」の場合にデータ採取ミスがあったため、この10件のデータを除外したものについて以後の解析を行う。

4.3.1 読みとりの正確さ

この実験においては、読みとり時間と読みとりの正確さとの2項目を測定した。このうち、正確さに関して、観測者の年代別の正答率を調べると表4-2となる。ここで、1回の実験で3地名が表示されることから、この地名の正確さに関しては1人あたり360件のデータとなる。

表4.2 地名判読の正答率

観測者の年齢	正答率 (正答数/回答数)
20代	99.5% (3553/3570)
40代	99.3% (3574/3600)
60代	99.0% (3565/3600)

このように各年代とも正答率が極めて高かったことから、正確に地名を読みとっていると判断した。また、厳密を期すために、誤答したデータを除外して後の読みとり時間についての解析を行うこととする。

なお、正答率に関して観測者の年代により差があるかどうかを、2つの母集団における比率の差に関する検定により調べる。すなわち、2つの母集団において、対象となる事象の母比率をそれぞれ P_1 、 P_2 とすると、「 $P_1 = P_2$ 」という帰無仮説を立てて、次式で求められる頻度分布が、平均0、標準偏差1の正規分布曲線で近似できることを利用して、帰無仮説が棄却されるかどうかを調べるというものである⁵⁾。

$$z = \frac{P_1 - P_2}{\sqrt{\frac{P_1(1-P_1)}{n_1} + \frac{P_2(1-P_2)}{n_2}}} \quad \dots (4-1)$$

ここで、 $P_i = k_i / n_i$

(n_i は母集団*i*における標本数、 k_i は母集団*i*における事象の数を表す。)

今回の正答率について検定を行うと、有意水準5%で20代と60代との間で仮説が棄却された。すなわち、20代と60代との間で正答率の差があると考えられる。20代と40代との間、並びに、40代と60代との間では、正答率に差は認められなかった(有意水準5%)。

4.3.2 年齢による読みとり時間の差

年齢による読みとり時間の差をみるため、HUD中心視のデータについて解析すると(図4-5)、20代(平均で1.59秒)と40代(平均で1.70秒)についてはほとんど差は認められないが、60代については、読みとり時間が平均で2.17秒と長くなる。また、年齢が高くなるほど、標準偏差が大きくなり、ばらつきが大

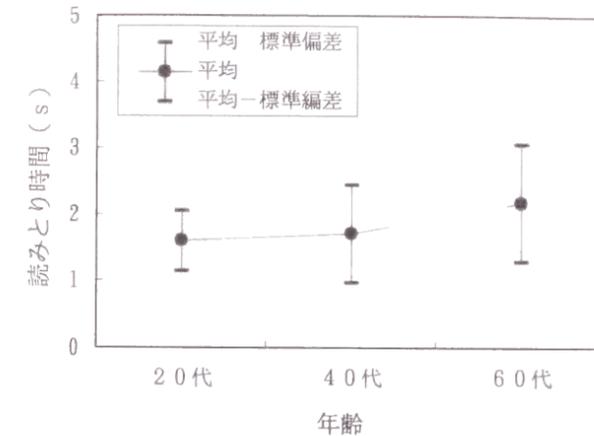


図4-5 年齢による読みとり時間の差

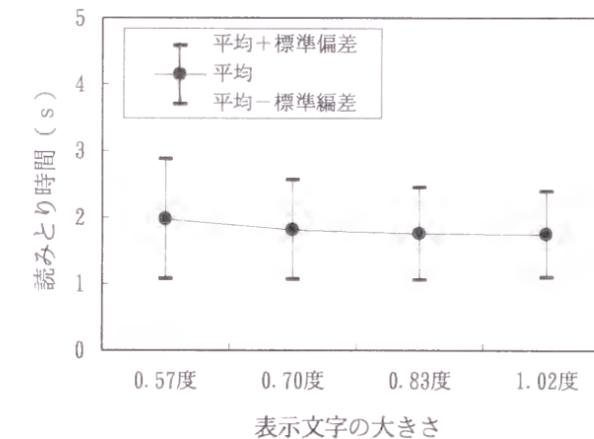


図4-6 表示文字大きさによる読みとり時間の差

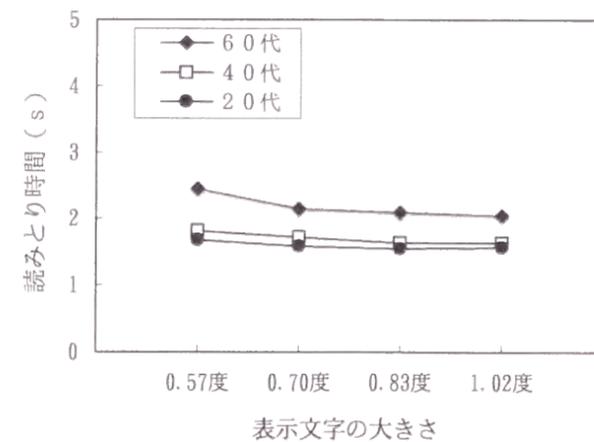


図4-7 表示文字の大きさと年齢による影響

きくなっている。

ここで、実験条件による読みとり時間の差を統計的に調べるため、t検定を行って、2組の母集団の平均が等しいという仮説が棄却されるかどうかを調べた。t検定については、2組の母集団の分散が等しいことが前提となっているが、2組の標本数がほぼ等しいならば2組の母集団の分散が等しくなくてもほぼ正しい検定となることが知られている⁶⁾ので、以下、t検定を用いて平均の差に関する検定を行うこととする。

平均の差についてのt検定を行うと、60代と40代とを比較した場合、並びに、60代と20代とを比較した場合には、いずれも有意水準1%で仮説は棄却された。すなわち、読みとり時間の差が認められた。20代と40代との間では有意な差は認められなかった(有意水準1%)。

4.3.3 表示文字の大きさの影響

HUD中心視のデータに基づき、4種類の表示文字の大きさによる読みとり時間の差を調べると(図4-6)、0.57度の大きさの時に読みとり時間が長くなる傾向がある。一方、0.70度以上の大きさの場合には、読みとり時間の差は顕著ではない。

平均の差についてのt検定を行うと、0.57度と0.83度とを比較した場合、並びに、0.57度と1.02度とを比較した場合に、いずれも有意水準1%で読みとり時間の差が認められた。

年代別にみると(図4-7)、特に60代の場合に、0.57度の大きさの時の読みとり時間が長くなっていることがわかる。60代について、平均の差についてのt検定を行うと、0.57度と0.83度を比較した場合、並びに、0.57度と1.02度とを比較した場合に、有意水準1%で読みとり時間の差が認められた。20代と40代に関しては、表示文字の各大きさによる読みとり時間の差は認められなかった(有意水準1%)。従って、特に高年齢者に対しては、ある程度の大きさの表示を呈示する必要があることがわかる。

4.3.4 表示位置の影響

表示位置を変えた場合の読みとり時間については、図4-8に示すように、HUD

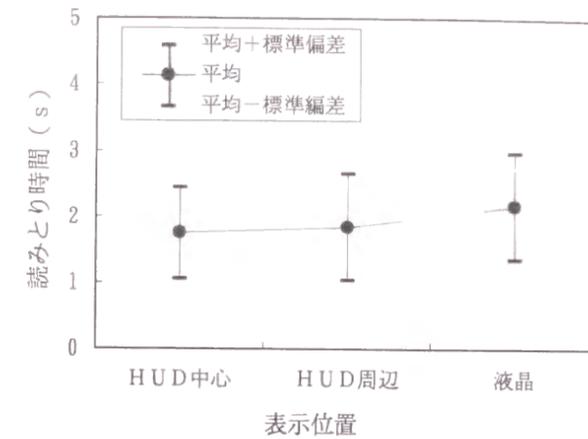


図4-8 表示位置による読みとり時間の差

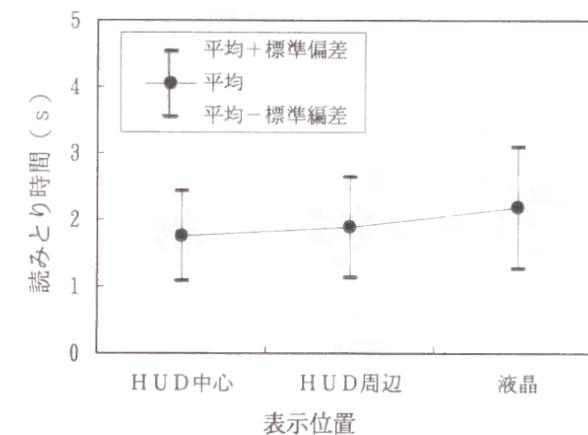


図4-9 ラジオを聞きながら観測したときの読みとり時間

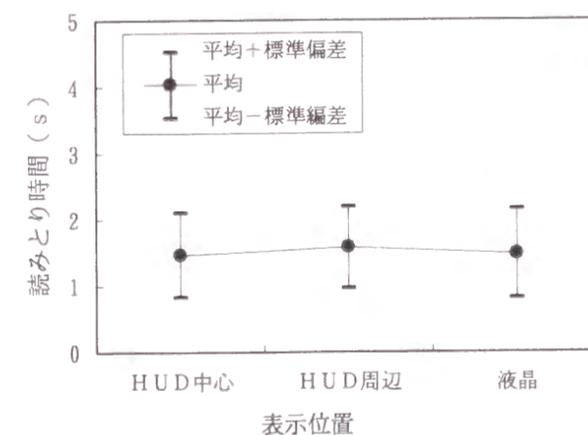


図4-10 予告音のある場合の読みとり時間

中心表示のときの読みとり時間（平均で1.75秒）とHUD周辺表示のときの読みとり時間（平均で1.84秒）とではほとんど差は認められないが、液晶周辺表示の場合には読みとり時間が長くなっている（平均で2.16秒）。（前述のように、表示位置等によるデータの比較を行う際には、HUD中心表示に関しては0.83度の大きさの場合のデータを集計している。以下、同様である。）液晶周辺表示の場合、観測者が表示に気がつき、視線移動に必要な時間として、HUD方式に比べ約0.4秒必要であるといえる。

平均の差についてのt検定を行うと、液晶周辺表示とHUD中心表示とを比較した場合、並びに、液晶周辺表示とHUD周辺表示とを比較した場合に、いずれも有意水準1%で読みとり時間の差が認められた。HUD中心表示とHUD周辺表示とでは、読みとり時間の差は認められなかった（有意水準1%）。

4.3.5 ラジオを聞きながら観測したときの読みとり時間

ラジオを聞きながら観測したときの読みとり時間について、図4-9に示す。HUD中心表示のときの読みとり時間（平均で1.76秒）、HUD周辺表示の読みとり時間（平均で1.89秒）及び液晶周辺表示の読みとり時間（平均で2.18秒）となり、図4-8と比較して、ラジオを聞きながら観測した影響はほとんど認められない。t検定の結果についても、各表示位置に関し、ラジオを聞きながら観測した影響は認められない（有意水準1%）。

4.3.6 予告音のある場合の読みとり時間

表示の1秒前に予告音を出した場合の読みとり時間について、図4-10に示す。表示位置による差は認められず、液晶周辺表示の場合においても読みとり時間が平均で1.48秒となり、HUD中心表示の場合（1.47秒）とほぼ同じくらいに短くなっている。予告音のある場合の読みとり時間の平均が表示位置によらずにほぼ同じ値をとるという傾向は、t検定の結果からも有意水準1%で確認できた。

また、HUD中心表示において、読みとり時間の平均は1.47秒となり、予告音のない場合に比べて0.28秒短くなった。HUD周辺表示の場合（1.58秒）にも、予告音のない場合と比較して0.26秒短くなった。一方、液晶周辺表示の場合の予告音の有無による読みとり時間の差は0.68秒であった。3種類の表示位置の

いずれにおいても、予告音のある場合の方がなくない場合と比較して読みとり時間が短くなるという傾向は、t検定の結果からも有意水準1%で確認できた。

液晶周辺表示の場合には、表示に気がつくまでの時間を視線移動に必要な時間が低減されるので、予告音のある場合の方が読みとり時間が短くなったと考えられるが、HUD中心表示の場合においても読みとり時間が短くなったということは、表示に対する意識の集中の度合いが違ったためと考えられる。

4.3.7 地名の親密度の影響

本実験では、観測者に対して3つの地名を表示して読みとらせている。この際、観測者にとって親密度の高い地名であれば読みとり時間が短くなることが予想される⁷⁾。従って、地名の親密度と読みとり時間との関係に関して、各観測者の親密度に関するアンケート結果を基に調査を行った。前述の親密度のアンケートの際、「非常になじみがない」地名には1点、「少しなじみがない」地名には2点とするというように、

「非常になじみがある」の5点まで得点をつけるとする。地名を表示するにあたっては、3地名を同時に呈示しているのので、その3地名の得点の平均を求め、その表示の代表値（以下、「平均親密度」という）と考える。当然、同じ3地名であっても観測者により平均親密度は異なることとなる。平均親密度の最も低い値は、「非常になじみがない」地名が3つ呈示された場合の1.0であり、逆に最も高い値は、「非常になじみがある」地名が3つ呈示された場合の5.0である。

この解析にあたっては、HUD中心視のデータを使用しており、このうち、実験順序が順方向であった観測者15名のデータを用いている。逆方向の実験順序の場合には、親密度の低い地名であっても繰り返し呈示されると地名に慣れてしまうことが考えられたからである。

この3地名の平均親密度と読みとり時間との関係を調べると図4-11のようになる。全体にみて顕著な差はないが、平均親密度が1以上2未満の範囲においては、読みとり時間が長くなる傾向が認められる。平均親密度が1以上2未満の場合には平均で2.12秒であるのに対し、たとえば、平均親密度が5の場合には1.85秒となる。

平均の差についてのt検定を行うと、平均親密度が1以上2未満の範囲と3以上4

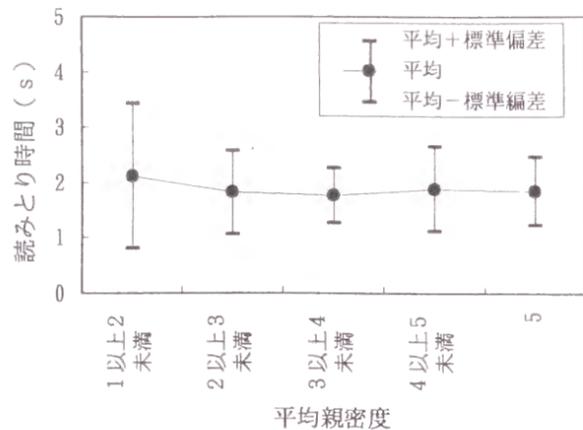


図4-1-1 平均親密度による読みとり時間の差



図4-1-2 走行実験状況

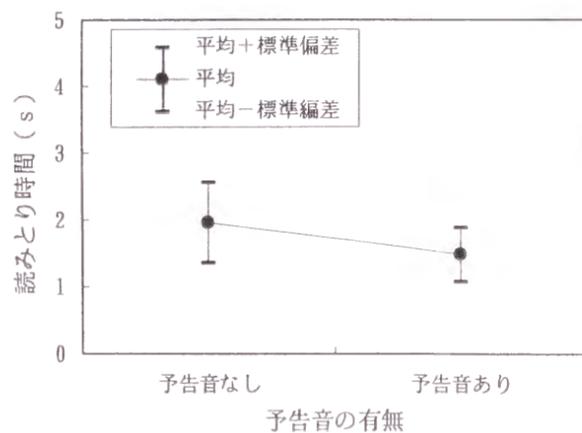


図4-1-3 走行実験時の予告音の有無による読みとり時間の差

未満の範疇とを比較した場合に、有意水準5%で読みとり時間の平均に差が認められた。他の範疇間では、有意水準5%で統計的な平均の差は認められなかった。

これらのことから、観測者にとってなじみのない地名に関しては、読みとり時間がわずかに長くなる傾向があることがわかる。今回は、東京地域に在住する人を対象に東京地域の地名を選択して呈示したので、「非常になじみがない」という場合でも、まったく初めての地名はほとんどなかったものと考えられる。もし、旅行等でまったく初めての土地で初めての地名が呈示された場合には、読みとり時間はさらに長くなるものと推定される。

4.4 経路誘導地名の判読性に関する走行実験

これまでに述べた室内実験のほか、テストコースにおいて走行実験を行い、運転時の地名の判読性について検討した。

4.4.1 走行実験内容

基本的な実験方法は室内実験時と同様である。表示装置は室内実験で使用した液晶表示装置を、運転者（観測者）からみて左方向に31度、下方向に18度の位置（観測者の目の位置から液晶表示面までの直線距離は約0.76m）に搭載して実験を行った（図4-1-2）。

小型乗用車を使用して、練習走行の後、次の(a)から(e)の手順を繰り返すことにより実験を行った。

- (a) 観測者が実験用車両を60km/hで直進走行をする。このとき、観測者はパソコンのマウスを片手にもった状態とする。
- (b) 実験用車両に同乗する実験実施者がパソコンのキー操作により3地名を表示する。
- (c) 観測者は呈示された地名を読みとり、読み終わった時点でマウスのボタンを押下する。
- (d) ボタン押下と同時に表示が消え、読みとり時間がパソコンに自動的に記録される。
- (e) 観測者は、実験用車両を停車させるとともに、読みとった地名を実験実施者に告げる。

また、この実験を行う際には、実際の交通状況を模擬するため、約20から25m

の車間距離をとった先行車両を同じ60km/hで走行させ、観測者に対して心理的な負荷を与えるようにした。

観測者については、15名（男性9名、女性6名）（20代7名、30代3名、40代4名及び50代1名、平均年齢は33.5歳）である。走行実験においては、年齢構成まで考慮した観測者を確保するのが困難であったため、彼らの年齢は各年代にわたった。

実験条件について、予告音のない場合と予告音のある場合とで各観測者10回ずつ実施したので、全実験回数は、予告音のない場合に150回、予告音のある場合に150回となった。

4.4.2 走行実験結果

地名の読みとりの正確さに関しては、全観測者の全回答についての正答率が99.7%と極めて高く、室内実験と同様に、正確に地名を読みとっていた。

読みとり時間に関して、予告音のない場合とある場合について図示すると図4-13のようになる。予告音のない場合の読みとり時間の平均1.96秒が、予告音のある場合には1.48秒と短くなっており、予告音の有無による差が認められた。平均の差についてのt検定を行った結果からも、有意水準1%で予告音の有無による差が認められた。

また、室内実験の液晶周辺表示の時の読みとり時間の平均と比較すると次のようになる。予告音のない場合には、室内実験時に2.16秒、走行実験時に1.96秒であって、ほとんど差は認められない。予告音のある場合には、室内実験時に1.48秒、走行実験時に1.48秒であって、同じ値を示した。室内実験と走行実験とでは、観測者の年齢構成、液晶表示装置の搭載位置等が異なるため、実験結果の厳密な比較はできないものの、読みとり時間に関しては、室内実験の結果と走行実験の結果とは極めて類似していると考えられる。

4.5 経路誘導地名の判読性のまとめ

自動車用ナビゲーションシステムの地名表示の判読性に関し、主に室内実験により検討を行った。表示対象は交差点における経路誘導を想定して3個の地名とした。表

示装置と表示位置について、HUD中心表示、HUD周辺表示、通常の液晶周辺表示の3種類を設定するほか、表示文字の大きさ、観測者の年齢等の各種の実験条件を設定した。観測者に対して、表示地名をできるだけ早くかつ正確に読みとるように指示をし、そのときの地名の読みとり時間（厳密には、読みとりに要する時間とマウス押下に要する時間とが合計された値）と読みとりの正確さに関し、以下の(1)から(6)までの知見を得た。

- (1) 観測者は正確に地名を読みとっている。
- (2) 60代の観測者の場合には、20代、40代の観測者よりも読みとり時間が長くなる傾向があり、また、ある程度以上の大きさの表示を行う必要がある。一方、20代と40代とでは、読みとり時間の差はほとんどない。
- (3) HUD方式の方が液晶周辺表示の場合より、読みとり時間が約0.4秒短い。また、予告音を聞かせることにより、観測者の意識が集中して、HUD方式の場合であってもさらに読みとり時間が短縮できる。
- (4) ラジオを聞きながら観測した場合でも、読みとり時間は特に変わらない。
- (5) 呈示される地名になじみがない場合には、読みとり時間がわずかに長くなる傾向が認められる。まったく知らない地名が始めて呈示された場合には、読みとりに長い時間がかかるものと推測される。
- (6) 通常の液晶表示装置を使用して、予告音の有無について走行実験を行った結果、読みとり時間に関して室内実験と類似した結果が得られた。

第5章 目的地を探索する場合の判読性

5.1 はじめに

前章においては、交差点における経路誘導と関連する3地名を表示した場合の読みとり時間について解析を行った。この場合、観測者に対して、読みとった後にその3地名を回答させるようにして、3地名とも十分に認識させるようにしていた。この実験をとおして、表示位置、観測者の年齢等により読みとり時間がどのように異なるのかを明らかにすることができた。

本章においては、単に、目的とする地名が地図上にあるのかどうかを観測者が判断すればよいという状況を想定した実験を行うこととした。すなわち、画面上に複数の地名を同時に表示して、その中に目的とする地名が含まれているかどうかを観測者に素早く判断させるという実験を行った。表示する地名の数を6個から12個まで変更した場合に読みとり時間がどのように変化するのか、また、観測者の年齢層によりどのように読みとり時間が異なるのかについて調べた。なお、前章の3地名を表示した場合の実験については、地名を表示するタイミングが重要であることから、観測者に対して不意に表示をだして、その表示に気がつくまでの時間も計測するようにしていた。しかし、目的とする地名があるかどうかについては、必ずしも緊急に観測者に知らせなければならない情報ではなく、むしろ、観測者の都合のいいときに読みとればよい情報と考えることができる。従って、今回の実験においては、不意に地名を表示するのではなく、予告音により表示を予告した後に地名を表示することにして、その表示に気づくまでの時間を除外するようにした。

以上の実験に当たっては、室内における観測実験のほか、屋外で実際に車両を走行しながら観測させる実験との2種類を行い、両者の実験結果の差異を検討することも試みた。

5.2 目的地を探索する室内実験方法

5.2.1 実験装置

室内実験の実験状況は、前章で述べた内容と基本的に同じであり、あご台の上にあ

ごに乗せた観測者が前方のスクリーン上に投影される道路風景を見ながら観測を行った。今回の場合、前方のスクリーンを前章のものと変更しているため、スクリーンに投影された道路風景の輝度に関しては、およそ、道路、交差点等については、5～10 cd/m²、白っぽい車両の後面部で10～16 cd/m²、黒っぽい車両の後面部で2～5 cd/m²となった。

表示装置としては9.5インチの大きさの液晶式のものを利用した。この表示装置のほぼ中央部に画面上で水平方向122mm、垂直方向91mmの6インチの大きさの長方形の領域を定め、その中に複数の地名を表示するようにした。この表示装置を、観測者の眼の位置から水平方向に約28度左側、垂直方向に約22度下側の位置に表示領域の中心部がくるように設置した。観測者の眼から表示領域の中心までの距離は約0.72mであった。表示の色は黒い背景に緑色（色度座標はx=0.277, y=0.553）の表示とし、表示部分の輝度は約40 cd/m²とした。

5.2.2 表示内容

市販のナビゲーション装置の表示地名の大きさは、1文字あたりの縦方向の大きさが画面上で5mmまたは6mmのものが多い。従って、表示する地名の大きさについては、これらの大きさを参考にして、画面上の縦方向の大きさを5mm、6mm及び7mmの3種類とした。また、表示する地名の数についても、市販のナビゲーション装置の地名の数を参考にして6個、8個、10個及び12個の4種類とした。今回の実験においては、目的地を「練馬」として、そのほかの地名はその近辺の地名から選択した。「練馬」については、前章の親密度の調査結果によると、観測者の平均で3.5という親密度であり、「少しなじみがある」と「どちらともいえない」の間に位置する地名である。表示像の種類については、「練馬」が含まれるものを4種類、含まれないものを2種類作成した。その結果、地名の大きさが3種類かつ地名数が4種類であり、それぞれの場合について、「練馬」が含まれるもの4種類及び含まれないもの2種類であるので、表示像の総計は72種類（大きさ3種類×地名数4種類×（「練馬」が含まれるもの4種類+「練馬」が含まれないもの2種類））となった。

全観測者30名（後述）の実験回数の総計は、「練馬」のある場合は1440回、「練馬」のない場合は720回となった。なお、表示像の呈示順序は無作為となるよ

うにした。地名の大きさ6mm，地名数6個，練馬が含まれるという条件の表示像の例を図5-1に示す。

5.2.3 実験方法

実験にあたっては，次の(a)から(f)の手順を繰り返した。

- (a) 観測者はスクリーン上の道路風景を見ている。
- (b) 実験実施者がパソコンのキー操作により地名を表示する。このとき，予告音として0.3秒間ブザーが鳴り，その後，0.7秒間の空白の後，画面に複数の地名が同時に表示される。
- (c) 観測者はブザーが鳴ると同時に画面の方を見て，表示される地名の中に「練馬」があるかどうかをできるだけ早く読みとる。
- (d) 観測者は「練馬」を見つけた時点で，パソコンのマウスのボタンを押す。または，表示される地名の中に「練馬」がないとわかった時点で，パソコンのマウスのボタンを押す。
- (e) ボタンを押すと同時に，表示地名が消え，読みとり時間がパソコンに記録される。
- (f) 観測者は実験実施者に対して，「練馬」の有無を口頭で伝える。

ここで，読みとり時間は，表示がでてからマウスのボタンが押されるまでの時間であるので，判断に要する時間とボタンを押す時間とが合計されたものである。従って，ボタンを押す時間を推定するために，地名を呈示する実験のほか，6インチの長方形の表示領域の全面を緑色にした図形を観測者に呈示する実験を行った。この実験においては，予告音の後，図形が表示されたらすぐにマウスのボタンを押すように観測者に指示をして，マウスのボタンを押すのに必要な反応時間を計測した。この実験は，各観測者に対して3回ずつ行った。

実験にあたっては，30名の色覚正常な観測者を用いた。年齢層を考慮して，20代10名（平均年齢26.4歳），40代10名（平均年齢44.0歳）及び60代10名（平均年齢62.3歳）の観測者とした。

5.3 目的地を探索する室内実験結果

5.3.1 読みとりの正確さ

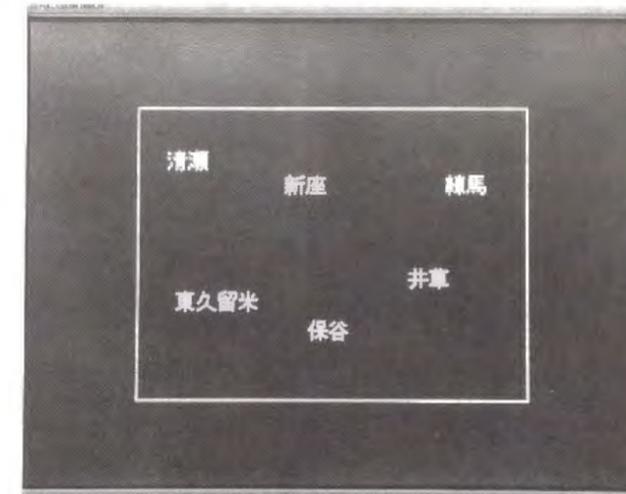


図5-1 地名表示の例

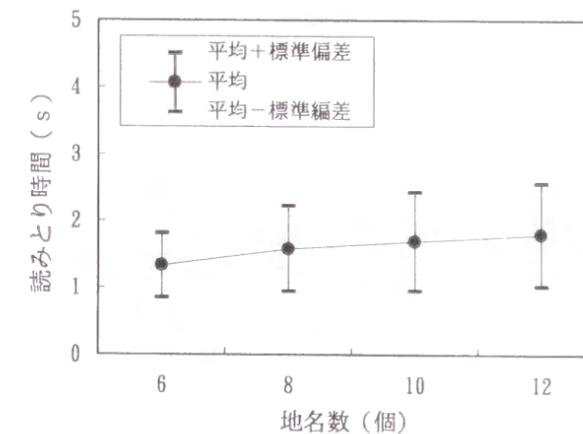


図5-2 「練馬」がある場合の読みとり時間（全観測者）

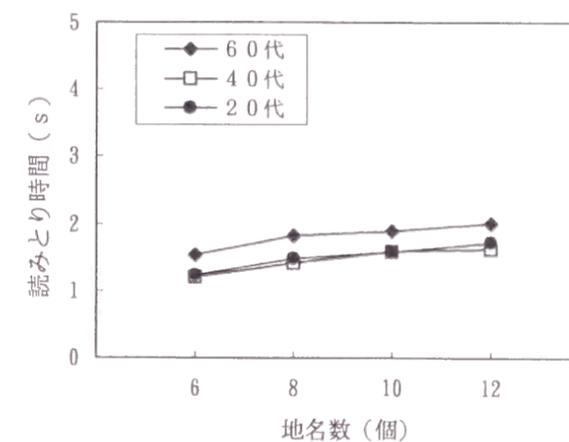


図5-3 年代別の読みとり時間の差（「練馬」がある場合）

観測者が「練馬」の有無を判断する際、誤って判断することが考えられる。つまり、「練馬」がないのにあると判断する場合と「練馬」があるのにないと判断する場合とである。「練馬」がある場合とない場合とについて各年代別に正答率を示すと表5-1となる。「練馬」があるのにないと判断した件数は、全体で1440件のうち15件（正答率は99.0%）、「練馬」がないのにあると判断した件数は、全体で720件のうち0件（正答率は100%）であり、観測者は正確に地名を判断している。

なお、前章で述べた方法により、各年代間の正答率の差の検定を行うと、いずれの年代間においても正答率の差は認められなかった（有意水準5%）。

以後、前章と同様に、厳密を期すために誤答したデータを除外して、読みとり時間に関する解析を行うこととする。

表5-1 「練馬」を探索する場合の正答率

観測者の年齢	「練馬」のある場合		「練馬」のない場合	
	正答率	(正答数/回答数)	正答率	(正答数/回答数)
20代	99.6%	(478/480)	100%	(240/240)
40代	99.0%	(475/480)	100%	(240/240)
60代	98.3%	(472/480)	100%	(240/240)

5.3.2 「練馬」がある場合の読みとり時間

「練馬」がある場合の読みとり時間について、全観測者の結果を図5-2のようになり、地名数に比例して読みとり時間が増加している。地名数をx個、読みとり時間をy秒として、図中に示される各地名毎の平均読みとり時間について回帰式を求めると次式となる。

$$y = 0.074x + 0.930 \quad (r=0.973) \quad \dots (5-1)$$

年代別にみると（図5-3）、20代と40代の観測者の間では差がないものの、60代の観測者については読みとり時間が長くなる。本章においてもt検定により、読みとり時間の平均の差の有無を統計的に調べることにする。t検定の結果からも、60代の観測者の読みとり時間が20代及び40代の観測者と比較して長くなることが

確かめられた（有意水準1%）。

今回の読みとり時間は、地名を読みとり判断する時間のほか、マウスのボタンを押す時間も含んでいる。このため、判断に必要な時間が含まれないように長方形を表示したときの反応時間を各年代別にみると、図5-4に示すように反応時間に年代別の差は認められない（20代の場合0.28秒、40代の場合0.30秒、60代の場合0.27秒、全観測者の平均は0.28秒）。単純な反応動作については、加齢による影響は顕著ではないというこれまでの報告¹⁾と一致した結果が得られた。また、年代間で反応時間の差がないことはt検定からも確認された（有意水準1%）。従って、60代の観測者の方が図5-3に示すように読みとり時間が長くなっているということは、単純にボタンを押す以外の部分に長い時間がかかっているものと推測される。なお、この反応時間については、第6章において、さらに詳細な検討を行っている。

地名の大きさ別に読みとり時間を調べると、図5-5に示すように地名の大きさが大きくなるにつれて、読みとり時間が短くなっている。t検定（有意水準1%）の結果、地名の大きさ5mm、6mm及び7mmについて、それぞれの間の読みとり時間の差が確認された。

5.3.3 「練馬」がない場合の読みとり時間

「練馬」がない場合の読みとり時間について、全観測者の結果を図示すると図5-6のようになり、地名数に比例して読みとり時間が増加している。回帰式は次式となる。

$$y = 0.228x + 0.553 \quad (r=0.996) \quad \dots (5-2)$$

これを年代別にみると、「練馬」のある場合と同様に、20代と40代の観測者の間では読みとり時間の差がないものの、60代の観測者については読みとり時間が長くなっている（図5-7）。これらの年代間の読みとり時間の差については、t検定により有意水準1%で確認された。

地名の大きさ別に読みとり時間を調べると、図5-8に示すように地名の大きさが大きくなるにつれて、読みとり時間が長くなる。t検定（有意水準1%）の結果、5mmと6mmとの間で読みとり時間の差があることが確認できた。しかし、6mmと7mmと

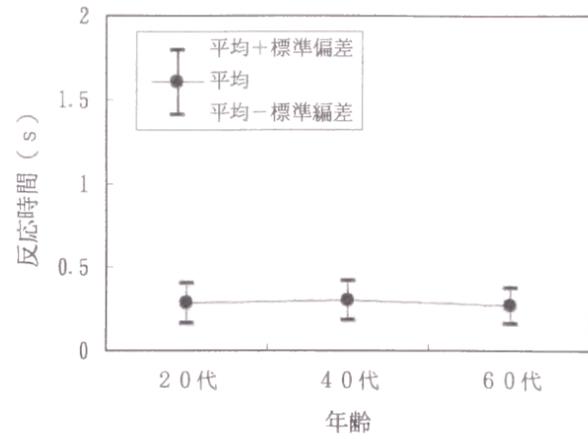


図5-4 年代別の反応時間の差

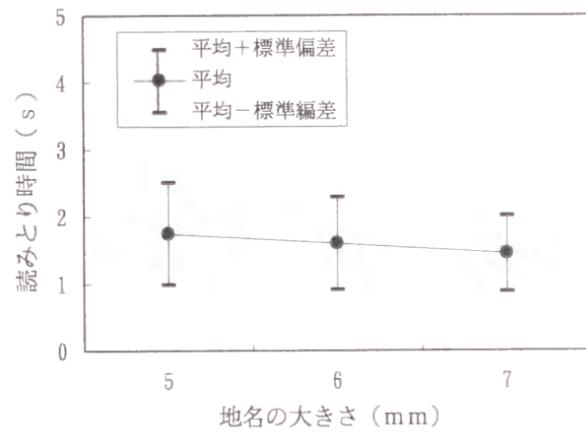


図5-5 地名の大きさによる読みとり時間の差 (「練馬」がある場合)

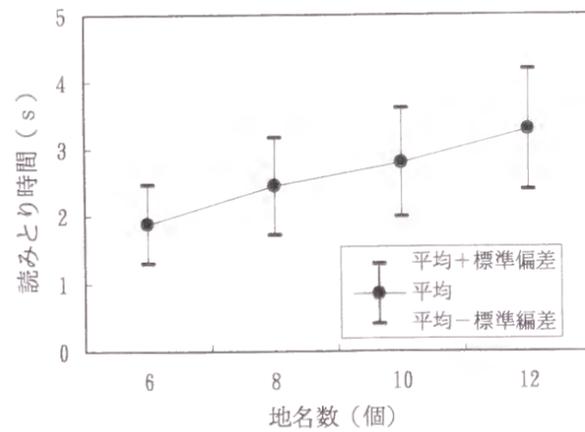


図5-6 「練馬」がない場合の読みとり時間 (全観測者)

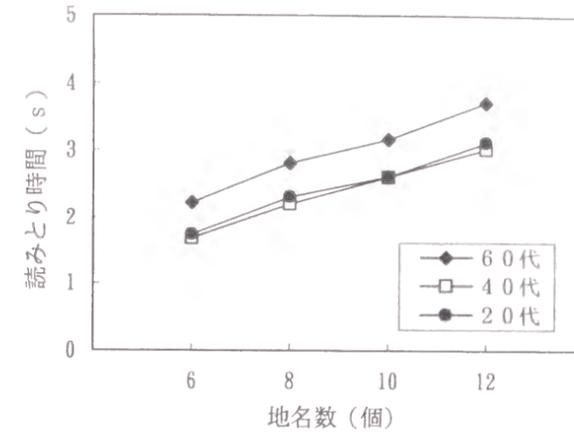


図5-7 年代別の読みとり時間の差 (「練馬」がない場合)

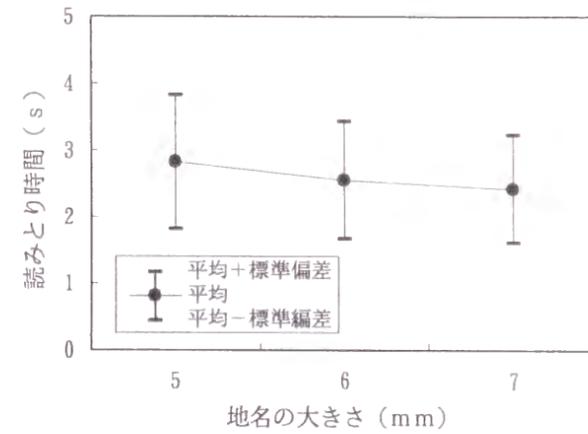


図5-8 地名の大きさによる読みとり時間の差 (「練馬」がない場合)



図5-9 走行実験状況

の間では差が認められなかった（有意水準1％）。

5.4 目的地を探索する走行実験

5.4.1 走行実験内容

前章と同様に、テストコースにおいて、観測者が実験用車両（小型乗用車）を運転しながら車室内の表示装置上の地名を読みとるという実験を行った。

実験に使用した表示装置は室内実験に使用したのと同じものである。この表示装置を実験用車両のダッシュボード上に、表示領域の中心の点が基準アイポイントからみて、水平方向について約40度左側、垂直方向について約32度下側となるように設置した。図5-9に搭載状況を示す。

地名の大きさについては、一文字あたりの縦方向の大きさが画面上で6mmの1種類とした。表示する地名の数は、室内実験時と同様に、6個、8個、10個及び12個の4種類である。また、地名の表示部分の輝度については、屋外実験であることを考慮して、約84cd/m²とした。

一観測者あたりの呈示の回数については、室内実験時と同様に、「練馬」がある場合に、それぞれの地名数（6個、8個、10個、12個）毎に各4回とした。また、「練馬」がない場合には、それぞれの地名数毎に各2回とした。これらの表示像の呈示順序は無作為とした。

実験にあたっては、次の(a)から(d)の手順を繰り返した。

- (a) 観測者が実験用車両を運転し、60km/hで直進走行をする。このとき、パソコンのマウスを片手に持った状態とする。
- (b) 同乗する実験実施者がパソコンのキー操作により地名を表示する。このとき、予告音として0.3秒間ブザーが鳴り、その後、0.7秒間の空白の後、画面上に複数の地名が同時に表示される。
- (c) 室内実験時と同様に、観測者は「練馬」があるかどうかをできるだけ早く読みとり、パソコンのマウスのボタンを押す。
- (d) 観測者は乗用車を停止させるとともに、実験実施者に対して、「練馬」の有無を口頭で伝える。

なお、実際の交通状況を模擬するために、約20～25mの車間距離をとった先行車両を同じ60km/hで走行させ、観測者に心理的負荷を与えるようにした。

観測者は、20代7名、30代3名、40代4名、50代1名の計15名（平均年齢34.1歳）であった。

また、地名表示とは別に、室内実験時と同様に、長方形の表示領域の全面を緑色にした図形を観測者に呈示する実験も行った。一観測者あたり3回繰り返してこのときの反応時間を調べた。

5.4.2 走行実験結果

(1) 読みとりの正確さ

「練馬」の有無について、あるのにないと回答した件数は全体で240件のうち8件（正答率96.7％）、逆に、ないのにあると回答した件数は全体で120件のうち1件（正答率99.2％）であり、観測者は正確に地名を判断している。

(2) 読みとり時間

走行実験においては、観測者は実験用車両を運転しながらダッシュボード上の表示装置を見ることとなる。前方に気を取られながら表示地名を見なければならぬため、観測者によっては、前方と表示装置とに交互に視線を移動させて繰り返し表示装置を見て地名を読みとることがあった。

「練馬」がある場合に、複数回表示装置を見た回数は、6地名の場合は全体の60件のうち1件であり、以下同様に、8地名の場合は5件、10地名の場合は4件、12地名の場合は15件であった。また、「練馬」がない場合に、複数回表示装置を見た回数は、6地名の場合は全体の30件のうち2件であり、以下同様に、8地名の場合は8件、10地名の場合は10件、12地名の場合は13件であった。このように、地名数が多くなるにしたがい、複数回にわたって繰り返し表示装置を見ていることが確認された。表示装置を複数回見た場合には、読みとり時間は、視線を前方に戻し又表示装置の方を見るという時間も含んでいることになる。

そこで、繰り返して表示装置を見た場合を除外して、一回の注視で地名を読みとった場合の読みとり時間を集計する。図5-10は「練馬」がある場合の読みとり時間を示し、図5-11は「練馬」がない場合の読みとり時間を示す。両図とも、ほぼ地

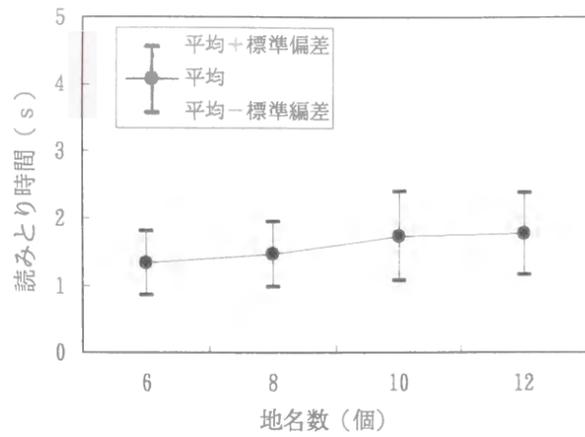


図5-10 「練馬」がある場合の読みとり時間 (走行実験)

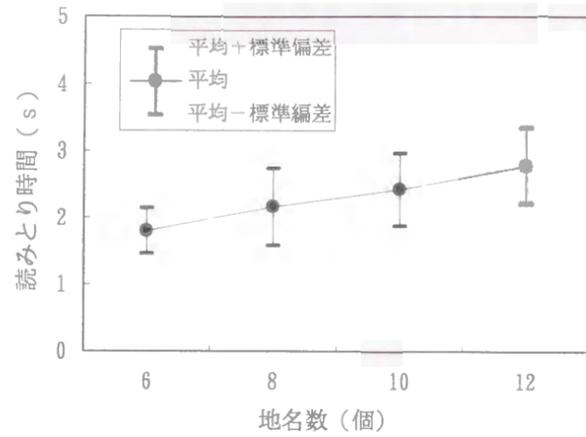


図5-11 「練馬」がない場合の読みとり時間 (走行実験)

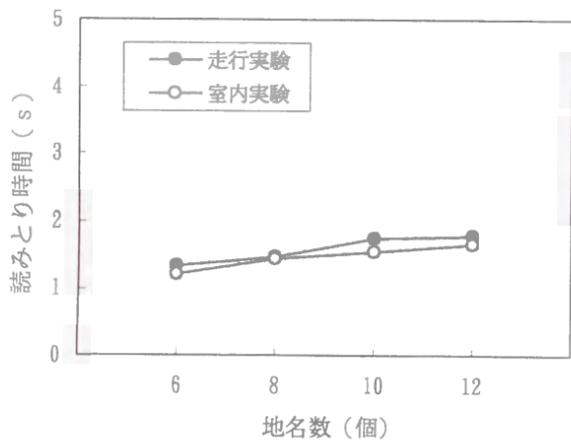


図5-12 室内実験と走行実験との比較 (「練馬」がある場合)

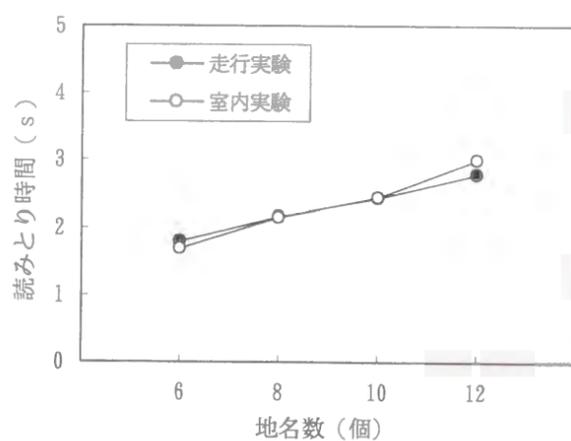


図5-13 室内実験と走行実験との比較 (「練馬」がない場合)

名数に比例して読みとり時間が増加していることがわかる。室内実験時と同様に、地名数を x 個、読みとり時間を y 秒として回帰式を求めると次式となる。

$$\text{「練馬」がある場合 } y = 0.079x + 0.868 \quad (r = 0.966) \dots (5-3)$$

$$\text{「練馬」がない場合 } y = 0.159x + 0.856 \quad (r = 0.993) \dots (5-4)$$

一方、マウスのボタンを押下する時間を求めるために行った長方形図形を表示した場合の反応時間は、平均で 0.29 秒 (標準偏差 0.13 秒) であった。

5.5 目的地を探索する実験結果の考察

5.5.1 室内実験と走行実験との比較

室内実験で実験条件を厳密に設定して観測者に観測を行わせた場合と、屋外で乗用車を運転させながら観測を行わせた場合との読みとり時間の比較を行う。この場合、走行実験時の条件に合わせるため、室内実験のデータについては、地名の大きさ 6 mm の時のデータとする。また、年齢層については、室内実験の結果、20代と40代の観測者の間には読みとり時間に差がないこと、また、走行実験時の観測者15名のうち14名までが40代及び40代以下であることを考慮して、室内実験時の40代の観測者のデータを集計して比較する。

「練馬」がある場合の室内実験と走行実験のデータの比較を図5-12に示す。また、「練馬」がない場合の結果を図5-13に示す。いずれの場合においても、室内実験の結果と走行実験の結果とは、ほぼ一致している。

また、緑色の長方形を表示したときの反応時間については、室内実験時には 0.30 秒 (40代のデータ)、走行実験時には 0.29 秒であり、ほぼ同じ結果が得られた。t検定の結果からも反応時間の差は認められない (有意水準 1%)。

これらのことから、実験条件を整合させれば、読みとり時間に関して、室内実験を行うことにより走行実験の代わりとすることがほぼ可能であると推定できる。

5.5.2 「練馬」がある場合とない場合に関する考察

「練馬」がない場合には、観測者は全地名を読みとる必要がある。従って、1地名について判断する時間を ΔT とすれば、1地名増える毎に、 ΔT に比例して読みとり時間が増加することとなる。ここで、1地名について判断する時間 ΔT とは、前述の

「練馬」がない場合の回帰式の中の x の係数に相当する。

一方、「練馬」がある場合には、観測者は「練馬」を見つけた時点でマウスのボタンを押すため、1地名増えたとしても、必ずしも、 ΔT に比例して読みとり時間が増加するわけではない。この場合には、「練馬」を見つける確率を考える必要がある。たとえば、2地名の表示の場合には、確率 $1/2$ で最初にみた地名が「練馬」となり、この時点でボタンを押すことになるが、そうでない場合には、2つ目にみた地名で「練馬」かどうかを判断することとなる。（観測者には「練馬」があるかないかは事前に知らされていない」ということに注意。）従って、 ΔT の時間でつける確率が $1/2$ 、 $2\Delta T$ の時間でつける確率が $1/2$ となる。同様に、3地名の表示の場合には、 ΔT でつける確率が $1/3$ 、 $2\Delta T$ でつける確率が $1/3$ 、 $3\Delta T$ でつける確率が $1/3$ となる。一般的に n 個 ($n \geq 1$) の地名が表示された場合の読みとり時間の期待値に関しては、地名数に依存する時間として次式で表される時間が必要となる。

$$\frac{(1+2+3+\dots+n)\Delta T}{n} = \frac{n(n+1)\Delta T}{2n} = \frac{(n+1)\Delta T}{2} \dots (5-5)$$

すなわち、「練馬」がある場合には、1地名増える毎に $\Delta T/2$ ずつ読みとり時間が増加することになる。

室内実験時の「練馬」がある場合には、式(5-1)における x の係数は 0.074 であり、「練馬」がない場合には、 x の係数は 0.228 である(式(5-2))。上式に示された関係から考えると、「練馬」がない場合には $0.074 \times 2 = 0.148$ 秒の ΔT となるはずであるが、実験結果は少し長い値 (0.228 秒) を示した。この理由として、室内実験であることから心理的余裕があるため、「練馬」がない場合には、ひととおり全地名を読んだ後で、さらに確認のために再度画面を探すという場合があったためと考えられる。

走行実験時の回帰式をみると、「練馬」がある場合には、 x の係数は 0.079 であり、「練馬」がない場合には、 x の係数は 0.159 となり、ほぼ式(5-5)の推定の結果と一致した。

ΔT の値については、室内実験時の「練馬」がある場合のデータ、並びに、走行実験時のデータを参考にして、約 $0.15 \sim 0.16$ 秒であると推定できる。ただし、この値は、観測者の年齢、地名の表示の大きさにも依存する。

今回の実験は、画面上に複数の地名が分布して、その中から目的地を探索するものであった。ナビゲーションシステムでは、地名以外にも文字情報を呈示する場合が考えられる。この場合、最初から順に文字情報を把握するのではなく、画面上を探索して必要な文字情報のみを読みとる場合を想定すれば、その文字情報を探し出す確率を考慮する必要がある。つまり、全文字数等から推定される読みとり時間よりも、実際には短い時間で読みとることが可能であると推測される。

5.6 目的地を探索する実験のまとめ

自動車用ナビゲーションシステムの表示装置によって複数の地名が画面に同時に表示された場合に、観測者が目的地をどの程度早く探索することができるのかを調べるための実験を行った。その結果、以下の(1)から(4)までの知見を得た。

- (1) 表示される地名数に比例して読みとり時間が増加し、また、地名の文字が大きくなると読みとり時間が短くなる。
- (2) 20代と40代の観測者の間には読みとり時間に差は認められないが、60代の観測者の場合には、読みとり時間が長くなる。
- (3) 実験条件を整合させれば、室内実験時の読みとり時間と走行実験時の読みとり時間とは、ほぼ同じ結果が得られる。
- (4) 目的地の有無を判断する場合には、その地名を発見する確率を考慮する必要がある。目的地がない場合の1地名を判断するのに要する時間を ΔT とすれば、目的地がある場合には、 $\Delta T/2$ にほぼ比例して読みとり時間の期待値が増加する。

第6章 読みとり時間に関する要因分析

6.1 はじめに

一般に、自動車用ナビゲーションシステムの表示情報を読みとる場合には、運転者は前方を見ている状態から表示装置に視線を移動させることとなる。従って、単に表示情報を読みとるための時間だけではなく、視線移動等の動作に要する時間も考慮する必要がある。今回、これらの動作に要する時間を詳細に検討するための室内実験を行った。本実験においては、第5章と同様に、目的地が表示地名の中に含まれているかどうかを観測者に判断させるという実験条件を設定し、この判断に必要な時間を測定して比較検討を行った。

この実験においては、次の(a)から(f)の作業が繰り返される。

- (a) 観測者は、最初に指示された視対象を見ている。
- (b) 表示装置上に地名が表示される。
- (c) 観測者は、視線を最初の視対象から表示装置の方に移す。
- (d) 眼の焦点調整（以下、「調節」という）を行う。
- (e) 表示地名の中に目的地があるかどうかを判断する。
- (f) マウスのボタンを押す。

ここで、読みとり時間として、表示開始からマウスのボタンが押されるまでの時間が計測される。従って、この読みとり時間の中には上述の視線移動に要する時間、調節に必要な時間等が含まれている。これらの動作に要する時間を求めて、表示読みとり時の観測者の視認行動を明らかにしようというものである。

調節に必要な時間に関しては、これまでも多くの報告^{1, 2, 3)}があるが、いずれも医学的観点からの測定になっており、実際の自動車運転者を想定して眼の調節等を詳細に検討したものはほとんどない。従って、本章においては、自動車運転者が表示装置を読みとる状況を設定して、視線移動時間、調節に要する時間が、どのような値をとるのかを明らかにすることとした。特に、20代と60代の年齢層を観測者とするにより、これらの動作に要する時間が年齢によりどのように変わるのかを調べることとした。

6.2 読みとり時間の要因分析に関する実験内容

6.2.1 基本的考え方

表示装置への視線移動に要する時間及び調節に要する時間を推測するために、次の3種類の条件で実験を行った。

- (1) 観測者が最初から左下の方向にある表示装置を見ている場合（観測者の眼から表示装置までの距離は0.75mである）
- (2) 観測者の正面前方0.75mの距離におかれた道路風景画を観測者が見ている状態から、表示装置を見る場合（最初の視対象が近景の場合）
- (3) 前方5.6mの位置にあるスクリーン上の道路風景を観測者が見ている状態から、表示装置を見る場合（最初の視対象が遠景の場合）

すなわち、(1)の場合には、視線移動も調節も必要としないが、(2)の場合には、視線移動が必要ではあるが調節は不要、(3)の場合には、視線移動も調節も必要となるという状況を想定して実験条件を設定した。これらの実験条件における読みとり時間の差を求めることにより視線移動及び調節に要する時間を推定しようとするものである。ここで、厳密には、調節に伴い輻輳（視対象に対する左右の眼の視線のなす角度の変化）も同時に起こっているものと考えられるが、本章では、調節という内容で代表している。

6.2.2 実験装置

前章で述べた内容とほぼ同一の実験条件で室内実験を行った。実験状況を図6-1に示す（ここで、同図は写真撮影用に補助的な照明をあてているので実際の実験時の明るさとは異なる）。

(1) 表示装置

地名を表示する表示装置として、前章と同じ9.5インチの大きさの液晶式のものを利用した。この表示装置のほぼ中央部に画面上で水平方向122mm、垂直方向91mmの6インチの大きさの長方形の領域を定め、その中に複数の地名を表示するようにした。この表示装置を、観測者の眼から水平方向に約30度左側、垂直方向に約25度下側の位置に表示領域の中心部がくるように設置した。前述のように、観測者の眼



図6-1 実験状況（遠景を見ているとき）



図6-2 近景を見ているときの実験状況



図6-3 ビデオ撮影画像

から表示領域の中心までの距離は0.75mである。表示の色は黒い背景に緑色（色度座標は $x=0.281$, $y=0.560$ ）であり、表示部の輝度は約 4.5 cd/m^2 であった。背景の黒い部分の輝度は約 0.9 cd/m^2 であった。

（2）遠景の道路風景

観測者の前方のスクリーン上には、実験時に道路風景が投影された。投影像の大きさは、スクリーン上で横方向約2.2m、縦方向約1.6mであって、観測者から見たときの画角で表すと、横方向で約22度、縦方向で約16度であった。

（3）近景の道路風景

近景の道路風景画（静止画像）は、スクリーンに投影される道路風景の一画面をビデオプリンタにより印刷したものである。これを、観測者から見て、上述のように横方向約22度、縦方向約16度の画角の大きさとなるようにした（図6-2）。道路風景画の内容は、片側1車線（両側2車線）の道路を前方に車両が走行している風景である。この実験時には、観測者の左上後方から照明を与えており、静止画像上の輝度に関しては、白い車の後面部で約 5 cd/m^2 、道路部分で約 3 cd/m^2 であった。

（4）データ解析装置

実験実施者はパソコンを使用して、実験条件の設定、読みとり時間の計測及び記録等を行った。パソコンによって記録される読みとり時間の分解能は $1/1000$ 秒である。このほか、観測者の顔面及び全体の実験状況をビデオカメラにより撮影した（図6-3）。このビデオ撮影にあたっては、タイムコードジェネレータにより時間記録が同時にテープ上にデータとして記録されるので、実験後に観測者の視線移動状況等について解析することが可能である。ビデオに記録された時間の分解能は、 $1/60$ 秒である。

6.2.3 表示内容

表示する地名の大きさは、画面上の縦方向の大きさを6mmの1種類とした。また、表示する地名の数については、前章と同様に6個、8個、10個及び12個の4種類とした。今回の実験においても、目的地を「練馬」として、そのほかの地名はその近辺の地名から選択した。表示像の種類については、「練馬」が含まれるものを4種類、含まれないものを2種類作成した。なお、表示像の呈示順序は無作為となるようにし

た。

実験回数については、観測者1人あたり72回（うち、練馬のある場合48回、練馬のない場合24回）となった。全観測者20名（後述）の実験回数の総計は、練馬のある場合に960回、「練馬のない場合に480回となった。

6. 2. 4 実験方法

(1) 実験手順

遠景を最初に見ているときの実験手順の詳細は次の(a)から(f)に示すとおりである。

- (a) 観測者はスクリーン上の道路風景を見ている。
- (b) 実験実施者がパソコンのキー操作により地名を表示する。このとき、複数の地名の表示と同時にブザー音が鳴る。ブザー音は0.3秒間持続する。
- (c) 観測者はブザー音が鳴ると同時に画面の方を見て、表示される地名の中に「練馬」があるかどうかをできるだけ早く読みとる。
- (d) 観測者は「練馬」を見つけた時点で、パソコンのマウスのボタンを押す。または、表示される地名の中に「練馬」がないとわかった時点で、パソコンのマウスのボタンを押す。
- (e) ボタンを押すと同時に、表示される地名が消え、読みとり時間がパソコンに記録される。
- (f) 観測者は実験実施者に対して、「練馬」の有無を口頭で伝える。

読みとり時間は地名の表示開始からマウスのボタン押下までの時間である。また、近景を最初に見ている場合の実験手順も上述の手順と同様である。

一方、最初から表示装置を見ている場合には、観測者の注意を集中させるために、ブザー音の開始から1.0秒後に表示を行うこととした。

以上の実験にあたっては、(1)最初から表示装置を見ているとき、(2)最初に近景を見ているとき、(3)最初に遠景を見ているときの3種類の実験順序が、観測者間で無作為の順序で行われるように設定しており、観測者の慣れ、疲労等が全体の集計結果に及ぼす影響をできる限り排除するようにした。

(2) 反応時間

観測者の一連の作業のうち、ボタンを押す時間を推定するため、地名を呈示する実

験のほか、長方形の表示領域の全面を緑色にした図形を観測者に呈示する実験を行った。この実験においては、図形が表示されたらすぐにマウスのボタンを押すように観測者に指示をして、マウスのボタンを押すのに必要な反応時間を計測した。この実験においては、ブザー音とともに図形を表示するのではなく、空白時間の後に表示を行った。この理由は、ブザー音に反応してマウスのボタンを押すのではなく、表示に反応してマウスのボタンを押すようにするためである。表示のタイミングに関しては、ブザー音の開始から1.0秒後、1.5秒後、2.0秒後の3種類のタイミングとした。3種類のタイミングを無作為に選定して、観測者が予測をもってボタンを押すことがないようにした。この実験は、最初に見ている3種類の視対象毎に、各観測者に対して4回ずつ行った。ただし、最初に見ている視対象は異なっている場合、ブザー音による予告があるため、長方形が表示される場合は、観測者は表示装置の方に顔を向けていた。

(3) 観測者

観測者は色覚正常な20代10名（平均年齢、26.6才）、60代10名（平均年齢64.0才）の計20名である。これまでの第4章、第5章の実験においては、40代の観測者についてもデータを求めているが、読みとり時間に関しては、20代と40代とでは差がないことが明らかとなったので、今回は20代と60代のみの観測者として、年齢による差を求めることとした。

6. 3 読みとり時間の要因分析に関する実験結果と考察

6. 3. 1 読みとりの正確さ

3種類の視対象及び観測者の年齢別の正答率を表6-1に示す。正答率の次のカッコ内は正答数と全体の回答数を表す。「練馬」がある場合には、誤答するところがあるものの、正答率の最も低い場合であっても96.9%と高い正答率を示している。「練馬」がない場合には、視対象及び観測者の年齢にかかわらず、すべて正しく判断している。従って、観測者はほぼ正確に「練馬」の有無を判断していたと考えられる。

観測者の年代間による正答率の差の有無を第4章で述べた方法により調べると、「練馬」がある場合、最初の視対象が表示装置の場合と近景の場合に、20代と60

代との間で正答率の差が認められた（有意水準5%）。しかし、他の条件の場合には20代と60代とで正答率の差が認められなかったことより、観測者の年齢によって正答率に顕著な差があるとは認められない。

なお、読みとり時間の解析にあたっては、厳密を期すため、正しく回答したデータのみを対象として解析を行うこととする。

表6-1 「練馬」の有無に関する正答率

最初の視対象	「練馬」のある場合		「練馬」のない場合	
	正答率（正答数／回答数）		正答率（正答数／回答数）	
表示装置	20代	100%（160／160）	20代	100%（80／80）
	60代	97.5%（156／160）	60代	100%（80／80）
近景	20代	100%（160／160）	20代	100%（80／80）
	60代	96.9%（155／160）	60代	100%（80／80）
遠景	20代	98.8%（158／160）	20代	100%（80／80）
	60代	98.8%（158／160）	60代	100%（80／80）

6.3.2 読みとり時間

最初の視対象が表示装置である場合の読みとり時間について、観測者の年齢との関連で検討する。

読みとり時間の平均をとって、地名数との関係として表すと、図6-4（「練馬」がない場合）及び図6-5（「練馬」がある場合）となり、地名数にほぼ比例して読みとり時間が長くなっている。第5章で行ったように、図中に示される各地名数毎の平均読みとり時間について回帰式を求めると、次式のようなになる。ここで、xは地名数、yは読みとり時間（秒）である。

- (1) 「練馬」なし，20代 $y=0.184x+0.380$ ($r=0.991$)・・・(6-1)
- (2) 「練馬」なし，60代 $y=0.210x+0.777$ ($r=0.999$)・・・(6-2)
- (3) 「練馬」あり，20代 $y=0.059x+0.726$ ($r=0.972$)・・・(6-3)
- (4) 「練馬」あり，60代 $y=0.129x+0.614$ ($r=0.975$)・・・(6-4)

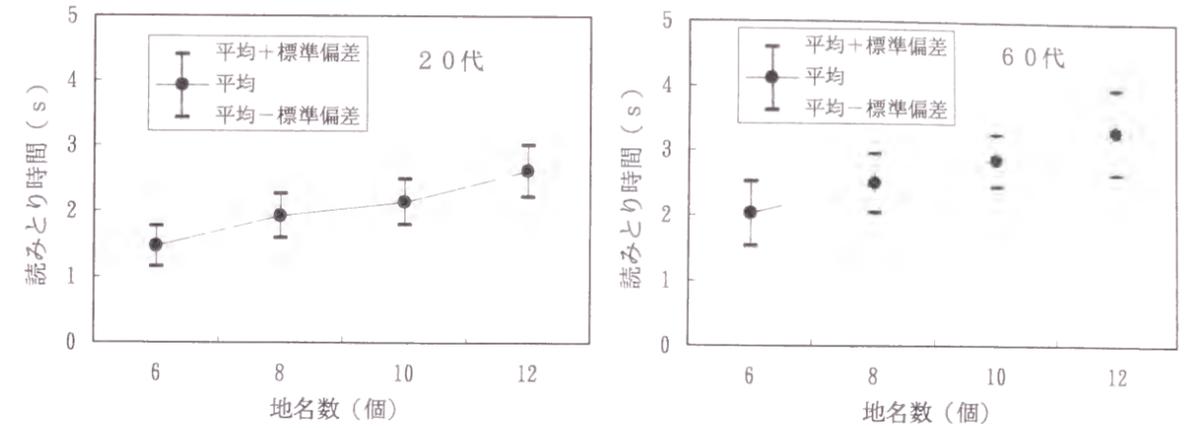


図6-4 最初から表示装置を見ているときの読みとり時間（練馬のない場合）

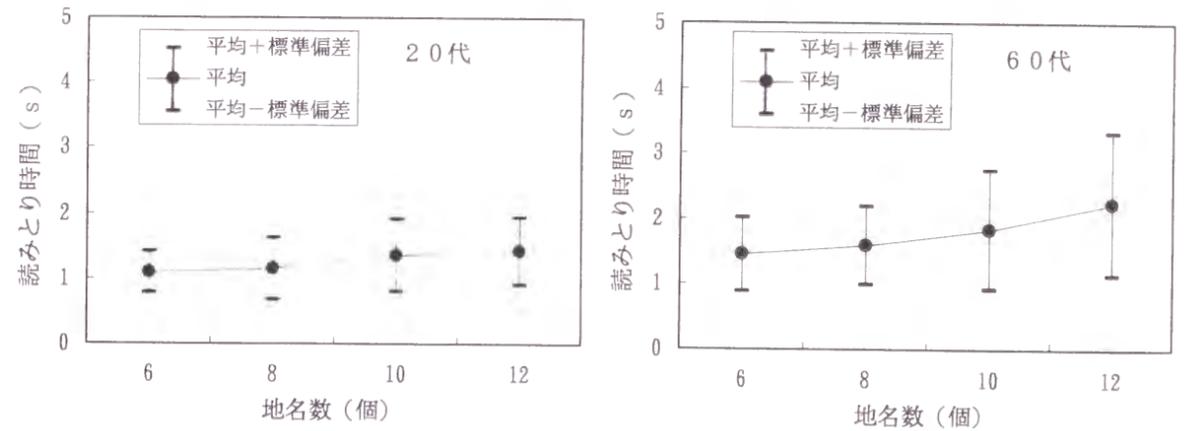


図6-5 最初から表示装置を見ているときの読みとり時間（練馬のある場合）

これらの回帰式に関し、 x の係数は一つの地名を読みとるのに関係する時間であると考えられる。この係数を20代と60代とで比較すると、60代の方が大きな数値となっている。すなわち、60代の方が20代よりも、一つの地名を読みとって判断するのに要する時間が長いといえる。

6.3.3 マウスのボタンを押すための反応時間

長方形を観測者に呈示した場合のマウス押下に要する時間について、最初から表示装置を見ている場合の結果を図6-6に示す。反応時間は、20代では0.24秒（標準偏差0.059秒）、60代では0.28秒（標準偏差0.091秒）となり、60代の方が長い値となる。平均の差に関する t 検定の結果からも、60代の反応時間の方が長いことが認められる（有意水準5%）。

一方、最初に近景を見ているときの反応時間については、20代では0.25秒（標準偏差0.070秒）、60代では0.26秒（標準偏差0.068秒）となる。また、最初に遠景を見ているときの反応時間については、20代では0.25秒（標準偏差0.067秒）、60代では0.27秒（標準偏差0.070秒）となる。（反応時間に関する実験では、ブザー音の予告により観測者は表示装置の方を見ることとなるため、最初の視対象が何であるのかについては、あまり重要な問題とはならない。）これらの2種類の視対象の場合には、20代と60代とで顕著な差は認められない。 t 検定の結果からも、これら2種類の視対象の場合には、20代と60代の反応時間について、有意な差は認められない（有意水準5%）。

以上の結果から、表示を認めてからマウスのボタンを押すための反応時間は、20代と60代とで顕著な差はなく、約0.26秒程度であると推定される。

マウスのボタン押下のための時間は、観測者が表示に気がついてボタンを押す動作に必要な時間であって、視線移動時間、調節に要する時間及び地名読みとりのための判断時間を含まない時間である。一方、前節で示した回帰式における定数項の値は、地名数 x を0とした場合の読みとり時間と考えられ、地名読みとりのための判断時間を含まない時間の推定値となる。（前節のデータは、最初から表示装置を見ている場合のデータであるから、視線移動時間、調節に要する時間は含まれていない。）しかし、定数項の値は、上述のボタン押下の反応時間よりも長い値を示す。この点につい

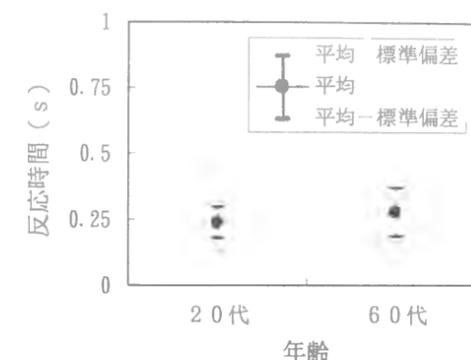


図6-6 マウス押下のための反応時間（最初から表示装置を見ている場合）

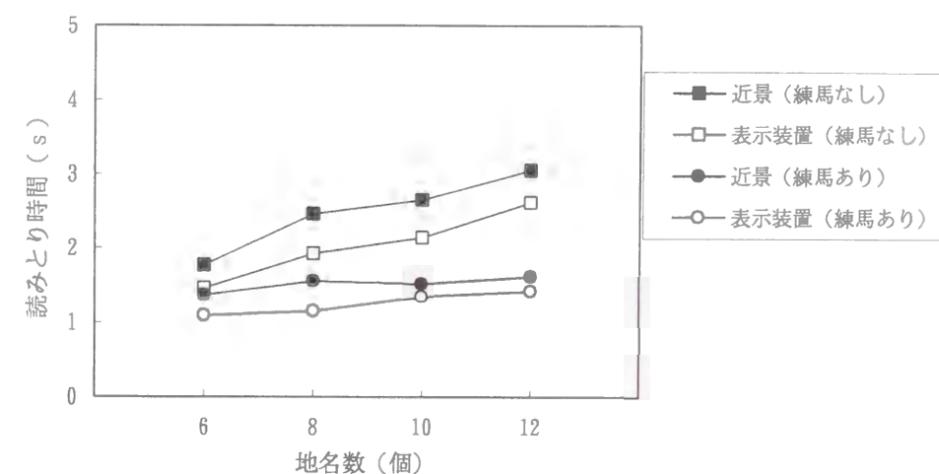


図6-7 最初から表示装置を見ているときと最初に近景を見ているときの読みとり時間の比較（20代観測者）

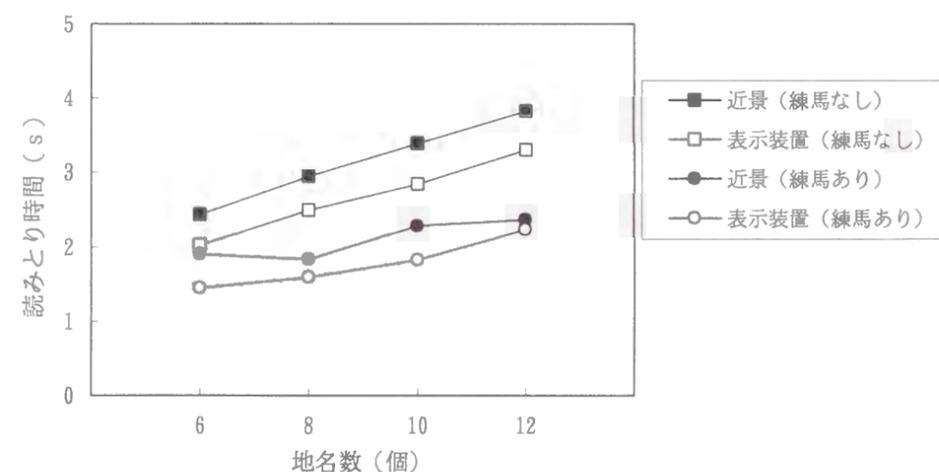


図6-8 最初から表示装置を見ているときと最初に近景を見ているときの読みとり時間の比較（60代観測者）

ては、観測者の判断に要する時間に関して、地名数に比例しない判断時間がさらに含まれていることを示唆するものと考えられる。

6. 3. 4 視線移動時間についての考察

最初から表示装置を見ているときは視線移動を伴わないが、最初の視対象が近景の場合には、表示装置を見るため、観測者は視線移動を行う必要がある。従って、最初から表示装置を見ているときの読みとり時間と、最初に近景を見ているときの読みとり時間との差を求めると、観測者が視線を移動して読みとりを開始するまでの時間を推定することが可能となる。

これらの読みとり時間について、図6-7に20代の結果、図6-8に60代の結果を地名数との関係として表す。両図とも、「練馬」のある場合と「練馬」のない場合との結果が示されている。いずれの場合においても、最初の視対象が近景の場合の方が、最初から表示装置を見ている場合よりも読みとり時間が長い。

この読みとり時間の差について全データの平均を求めると、20代の場合に0.32秒（標準偏差0.51秒）であり、60代の場合には0.39秒（標準偏差0.71秒）となる。20代と比較して、60代の方が0.07秒大きな値を示すが、有意水準5%によるt検定の結果からは、年齢による差については有意ではない。

一方、ビデオカメラにより撮影した観測者の顔面について、視線の移動状況を再現して解析すると以下のようなになる。ただし、この解析に当たっては、60代の観測者については、ビデオの撮影画像から眼球の動きを解析することが困難であったため、20代の観測者のみを対象としている。

最初の視対象が近景のとき、ブザー音開始から観測者の視線が動き始めるまでの時間は平均で0.21秒（標準偏差0.07秒）であり、視線が動き始めてから表示装置の方に移動し終わるまでの時間は平均で0.15秒（標準偏差0.07秒）である。すなわち、ブザー音開始（表示開始）から観測者の視線が表示装置に移動し終わるまでの時間は、平均で0.36秒（標準偏差0.09秒）である。ビデオ画像の解析による結果の0.36秒という値は、上述の読みとり時間の差から求めた値（0.32秒）とほぼ一致している。

別な見方をすれば、読みとり時間を解析することにより、観測者の視覚動作に要す

る時間を推定できるといえる。

6. 3. 5 調節に要する時間についての考察

最初の視対象が遠景である場合と、近景である場合との読みとり時間を比較すると、図6-9（20代）及び図6-10（60代）のようになる。両図とも、「練馬」のある場合とない場合の結果が示されている。読みとり時間に関して、ばらつきはあるものの、20代に関しては、最初の視対象による差は特に認められない（遠景の方が読みとり時間が長い、読みとり時間の差は平均で0.04秒（標準偏差0.50秒）であった）。しかし、60代に関しては、最初に遠景を見ている場合の方が、近景を見ているときよりも読みとり時間が長くなる傾向がある。その差は、平均で0.14秒（標準偏差0.71秒）である。20代と60代との間で、この調節に関連する時間について差があるかどうかをt検定により調べると、有意水準10%で有意な差が認められた。

最初に遠景を見ている場合と近景を見ている場合とについて、視線の方向は同じとなるように設定しているため、観測者の視線の移動量は同じと考えられ、この読みとり時間の差は、主に調節に要する時間であると考えられる。この調節がどの時点から始まっているのかは不明であるため、純粋に調節のみに要する時間を求めることは困難である。しかし、20代の場合には、視線移動とほぼ同時に調節が終了していると考えられる。一方、60代の場合には、調節に要する時間は20代よりも長くなる傾向が認められ、視線移動後の調節に要する時間を考慮する必要があるといえる。

ここで、調節時間に関するこれまでの研究結果と比較すると、本実験により得られた調節に関連する時間は、従来の結果から推測される値よりも短い値を示している。実験条件は異なるものの、福田らの報告²⁾では、2m離れた遠方視標から50cmの近方視標を注視したときの調節応答の速度について、20代では3.01D/s、50代では0.20D/sという値となっている。（ここで、Dの記号はジオプタ(Diopter)を表す。ジオプタは距離(m)の逆数で定義される単位であって、眼の調節の程度を表すものである。）今回の1.15Dの調節の変化に換算すると、20代では0.38秒、50代では5.75秒の調節に要する時間が必要であるということになる。

本実験でのデータが、このような従来のデータと比較して短い値を示した理由とし

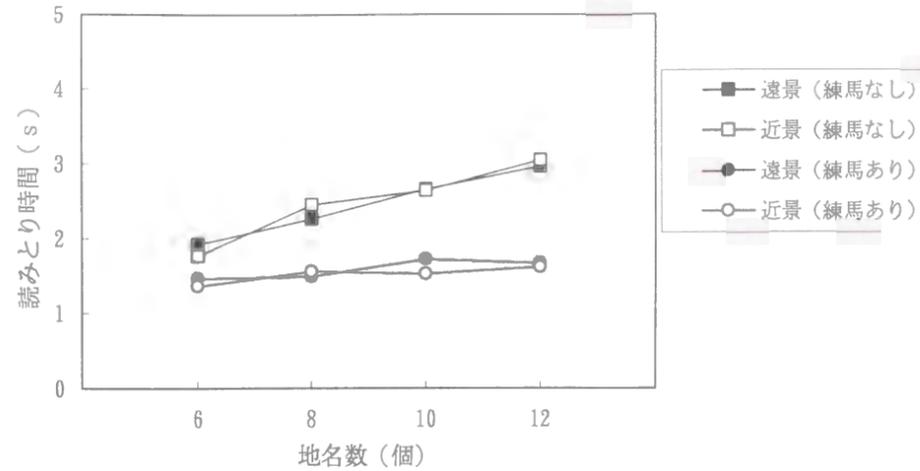


図6-9 最初に近景を見ているときと最初に遠景を見ているときの読みとり時間の比較 (20代観測者)

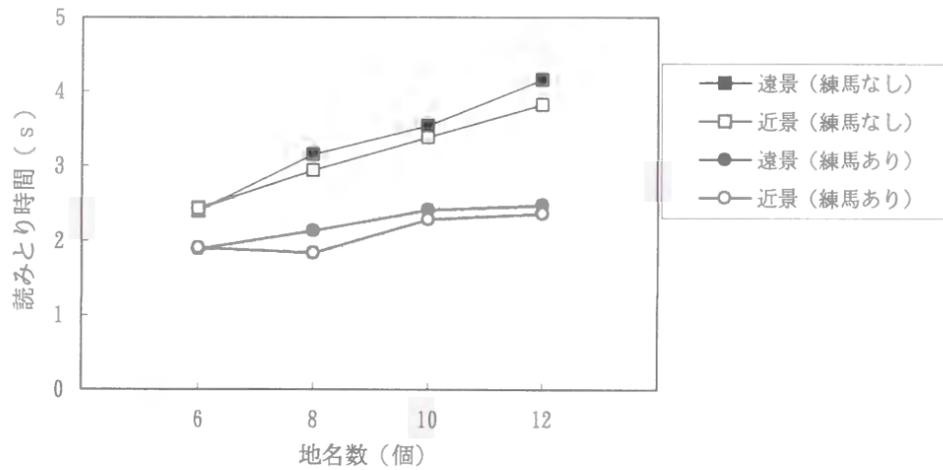


図6-10 最初に近景を見ているときと最初に遠景を見ているときの読みとり時間の比較 (60代観測者)

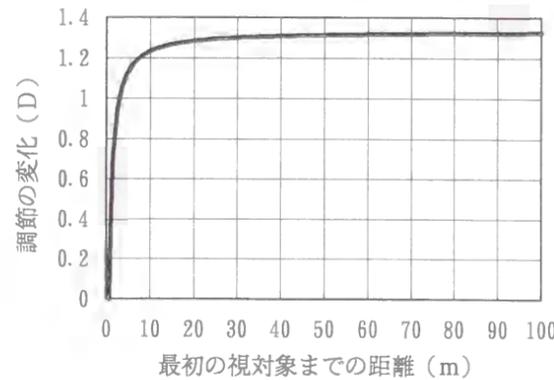


図6-11 最初の視対象までの距離による調節の変化 (0.75m離れた表示装置を見る場合)

て、次の2点が考えられる。

- (1) 厳密に調節が終了するまでの時間を測定しているのではなく、目的地(練馬)の有無を判断できればよいという実験条件であることから、調節の途中でマウスのボタンを押している。
- (2) 調節が視線移動後から開始されるのではなく、視線移動中に調節が開始されている。武田の報告³⁾によれば、観測者は視対象を確認した後に調節を行うとされている。しかし、本実験では、表示装置の位置が決まっており、繰り返しその表示装置を見ることから観測者は実験に慣れることとなり、視線移動中に調節が開始されていることも考えられる。

6.3.6 実走行時の調節に関する考察

最初に遠景を見ているときの5.6mの距離から、表示装置までの0.75mの距離への調節の変化を、ジオプタ(D)により示すと、 $|1/5.6 - 1/0.75| = 1.15D$ となる。今回の実験は室内で行っているが、走行時には、運転者は5.6mよりもさらに遠いところを見ながら運転することが多い。その場合、車室内の表示装置に対する運転者の目の調節を考えると、1.15Dよりもさらに大きな変化となることが予想される。

この点について検討するため、運転者が、遠くの視対象から、近く(運転者の眼から0.75m離れた距離)の表示装置を見る場合の調節の変化を求めると、図6-11のようになる。この場合、最初に見ている視対象までの距離(x軸で表される)は100mから0.75mまでの範囲にとっている。

これをみると、たとえば100m前方から表示装置を見る場合においても、1.32Dの調節の変化であるので、今回の室内実験の調節の程度(1.15D)と比較して大きく異なるわけではない。従って、今回の室内実験の調節に関する実験結果は、ほぼ、通常の走行時においても成り立つと考えられる。

一方、自動車の運動性能等を試験するためのドライビングシミュレータにおいては、実験装置の制約から、運転者の前方の模擬道路風景までの距離が短い場合も多い。このような場合、最初の視対象までの距離をたとえば1mとすると、0.75m離れた表示装置を見るとき調節の変化は0.33Dとなる。このような実験条件を設定し

た場合、運転者の眼の調節に要する時間は無視されることとなり、特に高齢観測者を対象として視覚情報処理に関する実験を行う場合には、不十分な条件設定であると考えられる。

6. 4 読みとり時間の要因分析に関するまとめ

自動車用ナビゲーションシステムの表示情報の判読性に関し、複数の地名の中から目的地を探し出すという実験を行い、読みとり時間を測定した。この読みとり時間から、視線移動に要する時間、調節に要する時間等を推定した。その結果、以下の(1)から(3)までの知見を得た。

- (1) 観測者に長方形図形を呈示してマウスのボタンを押させる場合の反応時間については、20代と60代とでは顕著な差は認められず、約0.26秒である。
- (2) 観測者が0.75m前方の近景を見ている状態から、表示装置の方に視線を移動して地名を読みとり始めるまでの時間について調べた。読みとり時間から推定すると、この視線移動に要する時間は、ブザー音開始(地名表示開始)から測定して、約0.3秒から0.4秒の範囲となる。年齢別については、20代と60代とで顕著な差は認められない。また、ビデオ画像による20代の観測者の視線移動状況から判断すると、ブザー音開始から観測者の視線が動き始めるまでの時間は0.21秒であり、視線が動き始めてから表示装置の方に移動し終わるまでの時間は0.15秒である。つまり、ブザー音開始(地名表示開始)から視線移動が終了するまでの時間は0.36秒であって、読みとり時間から推定した値とほぼ同じ値が得られる。
- (3) 5.6m前方の遠景から表示装置の方に視線を移動させた場合の読みとり時間について検討すると、20代の場合には、視線移動とほぼ同時に調節が終了しているのに対し、60代の場合には調節に要する時間が20代よりも長くなる傾向が認められる。60代の場合には、視線移動後の調節に要する時間を考慮する必要があることがわかる。

実験の容易さから、自動車の走行状態を実験室内で再現して、自動車室内の表示装置の視認性実験を行う場合も多い。この際、特に高齢者を観測者として実験を行う場

合には、眼の調節に要する時間を考慮して実験条件を設定する必要がある。しかし、調節を表すジオプタを単位として考えると、必ずしも実際の走行時のように、前方の視対象まで数十メートルという長い距離を確保する必要はない。5mから10m程度の距離があれば十分と考えられる。

第7章 ヘッドアップディスプレイの適正表示位置 －煩わしさ感に関する実験的考察－

7. 1 はじめに

最近、自動車の前面窓ガラス上に車速等を表示するHUDが一部の車両に採用されるようになってきている。さらに、車速情報だけではなく、ナビゲーションシステムにおける経路誘導等にもHUDを利用しようとする提案がなされており^{1,2,3)}、HUDは自動車の分野において、これから広く使用されていく技術であると考えられる。HUDについては、最初、戦闘機用表示装置として開発された技術であって、これが自動車にも応用されてきたものである。このHUDの利点については、運転者の視線移動量が低減されること等が、これまでに実験的に明らかにされている⁴⁾。しかし、運転者にとって望ましいものであるかどうかの判断は、最終的には運転者の主観によって決まるものである。特殊技能を有する専門パイロットが戦闘機を操縦する場合と異なり、自動車の場合には、広範囲の年齢の運転者が様々な用途で自動車を運転している。従って、HUDについても、ただ単に視線移動量低減等の数値上の性能向上を実現するものだけではなく、多数の運転者にとって違和感を与えない好ましいものである必要があり、これらの点について、未だ検討すべき事項が多い。

HUDの表示は前方の風景と重なることを前提にしていることを考えると、窓ガラスのどの位置に表示されるかということは、重要な問題となる。このHUDの表示位置については、種々の要因から決定されなければならない。表示内容をすばやく読みとらせるためには、運転者の正面前方に表示するのが最適であると容易に予想される。岡林ら⁵⁾は室内実験を行うことにより、表示位置により前景情報と表示情報とを同時に把握する正確さについて検討を行った。その結果、観測者の正面前方及びその数度の視角範囲において、情報を把握する正確さが高いことを示した。

しかし、実際の自動車運転時においては、運転者の正面前方にHUDを表示することは、前方の風景と重なることから、運転者にとって煩わしく感じられるものと考えられる。従って、情報の読みとりを考えると、できる限り正面前方にHUDを表示することが望ましいが、運転者に対する煩わしさを考えると、正面前方から離れた位置

に表示した方がよいともいえる。従って、HUDの表示位置により運転者がどの程度の煩わしさを感じるのかを解析することが極めて重要なこととなる。本章では実験を通じてこの点についての検討を加えるものである。

このHUDの煩わしさ感に関しては、さまざまな要因が関係している。このため、屋外において観測者が椅子に座って観測を行う基礎的実験のほかに、運転者の眼の位置の影響、HUDの表示輝度の影響、観測者の年齢の影響、走行時と停車時との煩わしさ感の変化等を明らかにするとともに、観測者の左右の両眼による2重像と煩わしさ感との関係を解析した。また、これらの一連の実験を実施する際の実験条件設定の参考とするためにHUDの適切な明るさの範囲を求めることが必要であるので、最初にHUDの適切な明るさの範囲を観測者の年齢との関係で調べた。

7. 2 明るさ感に関する実験

本節においては、室内実験時のHUDの明るさ感が観測者の年齢によりどのように変わるのかを調べる。たとえば、高齢者は若年齢者よりも不快グレアを感じやすくなることが知られている⁶⁾。(不快グレアとは、視対象物に対する視覚機能を必ずしも低下させることはないが、不快感を発生させるレベルのグレアをいう。)この不快グレアについては、不快と感ずるかかどうかという限界状態についての特性であり、実際の自動車用表示装置の望ましい明るさは、その不快グレアのレベルよりもさらに低いものであることが予想される。この低いレベルの明るさ感についても年齢の影響があるかどうかを、20代、40代及び60代の観測者を用いて調べた。

7. 2. 1 実験内容

暗室内でスクリーンを前景として、20代7名(平均年齢25.6歳)、40代7名(平均年齢44.1歳)及び60代7名(平均年齢66.3歳)の計21名の観測者がHUDの明るさ感について評価を行った。

全体の実験状況を図7-1に示す。今回の実験においては、観測者と前景のスクリーンとの距離は約5.1m、観測者とHUDの虚像との距離は約1.2mである。また、HUDの表示は緑色の蛍光表示管を利用しており、観測者から見たときのHUDの車速表示部分の縦方向の大きさは視角で表現して0.7度である。HUDの表示

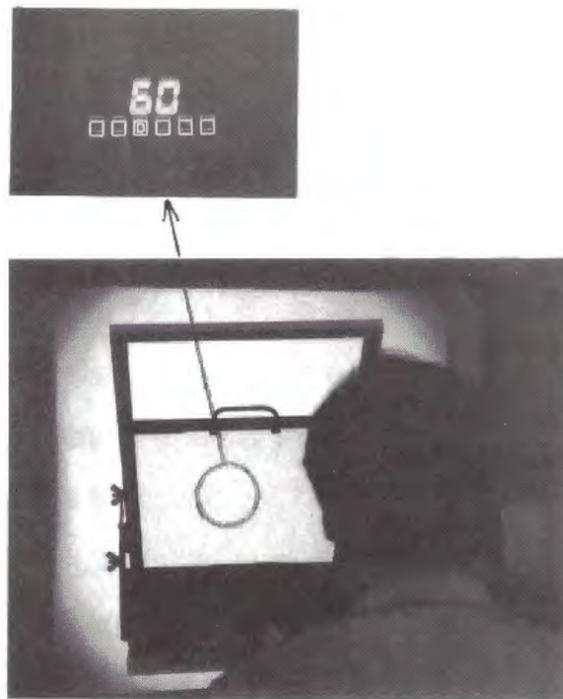


図7-1 明るさ感に関する実験状況

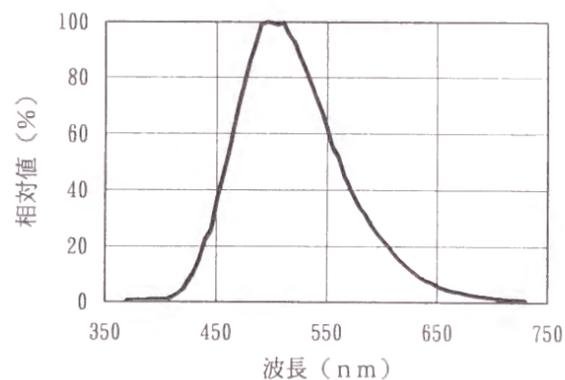


図7-2 蛍光表示管によるHUDの分光特性

用ガラスは、酸化チタンにより表面を蒸着したものであって、水平面から40度の傾きとなるように設置した。この取り付け角度で観測者から見たときの表示用ガラスの透過率は74%となった。観測者の方向からのHUDの表示輝度は最高で1640cd/m²であり、そのときの分光特性は図7-2に示すとおりである（色度座標は x=0.236, y=0.419）。ただし、この表示輝度等の測定値は単独で暗室内で測定しており、前景のスクリーンの明るさの影響をうけていない値である。

実験中、観測者は椅子に着座して自然視の状態を観測を行ったが、厳密な頭部位置の保持は行っていない。なお、観測者が暗室内の暗さに順応した後、評価実験を開始し、その後、前景の明るさが変化するたびに3分程度の順応時間をとった。

実験方法については、ある設定前景輝度に対し、HUDの表示輝度を暗い方から明るい方に連続的に変化させ、観測者が適切なHUDの明るさと判断したとき、パソコンのマウスのボタンを押下するようにさせて、そのときのHUDの表示輝度を求めるという方法をとった。この上昇系列のほかに、HUDの表示輝度を明るい方から暗い方に変化させるという下降系列の実験も行った。

一般に、自動車におけるHUDの表示像については、前方道路を前景として表示するように設計されている場合が多い。このため、今回の実験においては、前景として、無地白色の場合を設定するほか、実際の道路をカメラにより静止画像として撮影し、スクリーンに投影する場合も設定した。この場合の道路については、道の両側に木立のある2車線（片道1車線）の道路（アスファルト路面）を車両の通行しないときに進行方向に撮影したものである。実験時のHUDの表示像はこの撮影された路面に重畳されるようにした。

前景の輝度については、無地白色の場合、表7-1に示す5種類とし、道路の場合の設定輝度については、実験装置の制約のため、表7-2に示す3種類の設定とした。ただし、道路の場合にはスクリーンの測定位置により輝度の値が異なるため、HUDが表示されるあたりの輝度の測定値を示す。このように設定した輝度の前景に対してHUDの表示像が重畳して表示されることになる。

表7-1 前景輝度と色度座標（無地白色の場合）

前景輝度 (cd/m ²)	色度座標	
	x	y
128	0.426	0.418
75	0.427	0.419
17	0.425	0.417
4.0	0.389	0.417
0.86	0.394	0.418

表7-2 前景輝度と色度座標（道路前景の場合）

前景輝度 (cd/m ²)	色度座標	
	x	y
6.6	0.442	0.400
3.8	0.441	0.400
0.88	0.443	0.396

ここで、前景となる実際の道路の路面輝度を測定すると、たとえば図7-3のようになる（テストコースにおける約100m前方の路面を対象にした測定結果）。この測定結果からわかるように、今回の前景の設定輝度の範囲は、周囲が暗くなる日没前後の路面輝度に相当するものであることがわかる。すなわち、日没前後の時間帯を想定した実験となっている。

なお、今回の前景については輝度0.86cd/m²まで暗くしており、薄明視の状態に至っていると考えられるが、しかし、薄明視についてこれまでに得られている知見⁷⁾を基にすると、この設定輝度の範囲では観測者の比視感度曲線は明所視の場合とほぼ同じである。（比視感度曲線とは、横軸に波長、縦軸に視感度を取り、波長による視覚の感度の変化を表したものをいう。）従って、今回の実験における前景輝度の範囲では、プルキンエ現象は特に生じていないと考えられる。（プルキンエ現象とは、

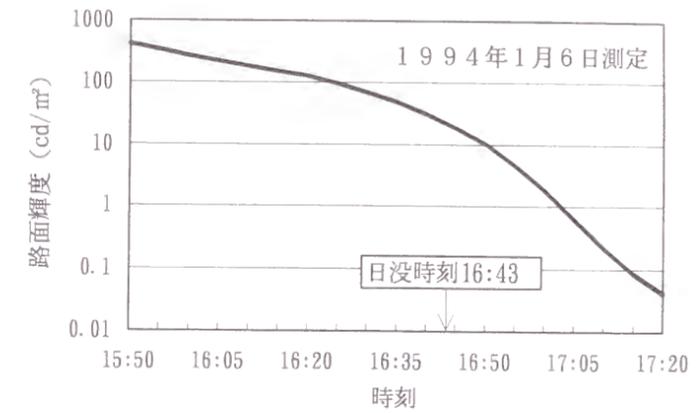


図7-3 路面輝度の実測値例

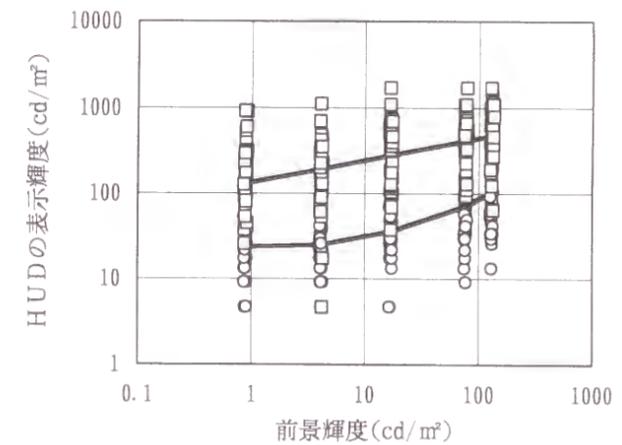


図7-4 HUDの明るさ感
（全観測者、無地白色前景の場合）

視野内の輝度が分光特性一定のまま、各波長とも同じ割合で低下し明所視から暗所視の状態に移行するとき、青の光に比して赤の光の明るさが低下する現象」⁸⁾をいう。)

7. 2. 2 実験結果

無地白色前景の場合のHUDの適切な明るさ感の評価結果を、横軸を前景輝度、縦軸をHUDの表示輝度にとって図示すると図7-4のようになる。図中の○印は上昇系列時に得られたHUDの表示輝度のデータを表し、□印は下降系列時に得られたHUDの表示輝度のデータを表す。また、図中の下の線は、上昇系列時のデータを最小2乗法により補間した線を表し、上の線は下降系列時のデータを同様に補間した線を表す。補間する際には、AIC（赤池情報量基準）⁹⁾により2次までの次数のうち最適の次数を決定した。上昇系列と下降系列との補間線に囲まれた範囲を、今回の実験条件での適切な明るさと判断した領域と考えることとする。ただし、この範囲は、適切な明るさと判断する範囲であるので、観測者が視認可能な表示輝度よりは高い値となっている。

観測者の年代別の評価結果をみると（図7-5）、20代の評価結果は適切な明るさの範囲が広いものの、40代、60代の場合には、その範囲は狭くなっていることがわかる。

前景が道路の場合のHUDの適切な明るさ感の評価結果を全観測者について図7-6に示し、また、各年代ごとに図7-7に示す。上昇系列時のデータの補間線及び下降系列時のデータの補間線については、前景の設定輝度が3種類と少ないこともあって、横軸に平行な定数項による補間結果となっている。また、無地白色の場合と同様に、20代よりも40代、60代の方が、適切な明るさと感じる表示輝度の範囲が狭いという結果が得られている。

7. 2. 3 明るさ感に及ぼす加齢の影響の考察

実験結果からみると、前景が無地白色の場合においても道路の場合においても、20代の観測者と比較して、40代、60代の観測者の方が適切と判断する範囲が狭くなっている。無地白色前景の場合には、20代に比較して40代、60代の場合に、適切と判断する上限（下降系列時のデータを基にしたもの）は図中の下方向に移行し、

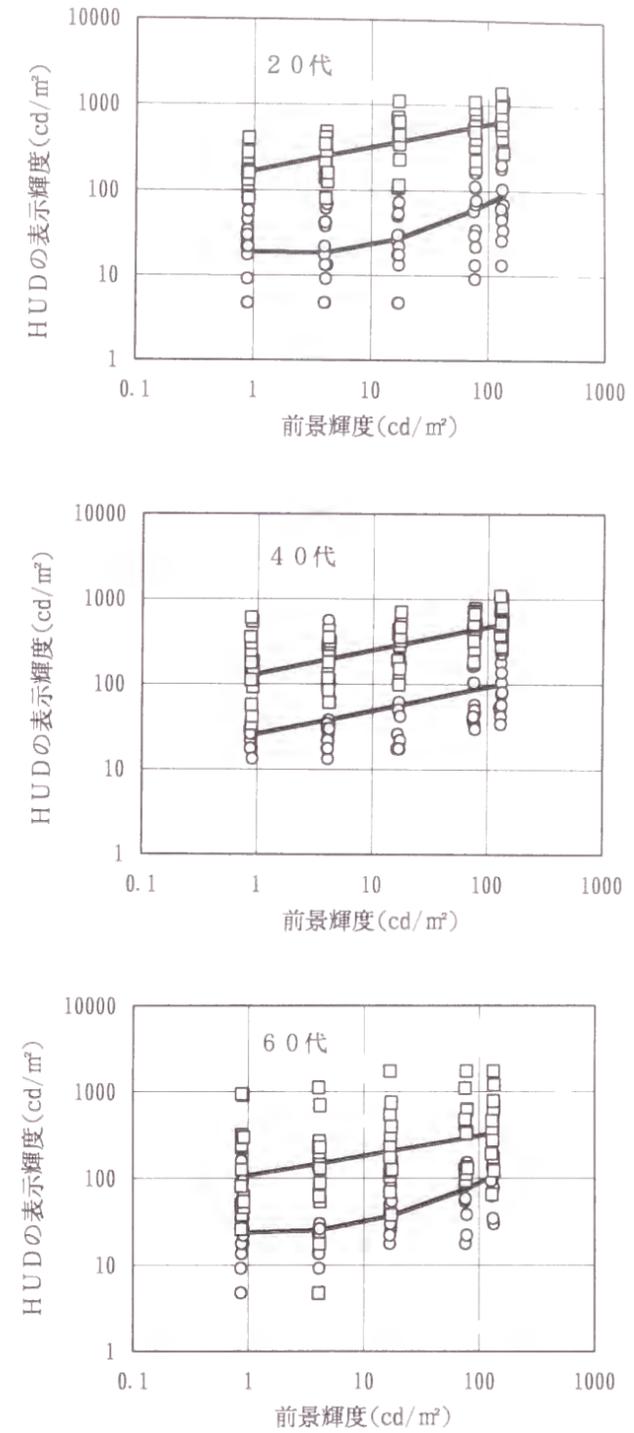


図7-5 年代別の明るさ感（無地白色前景の場合）

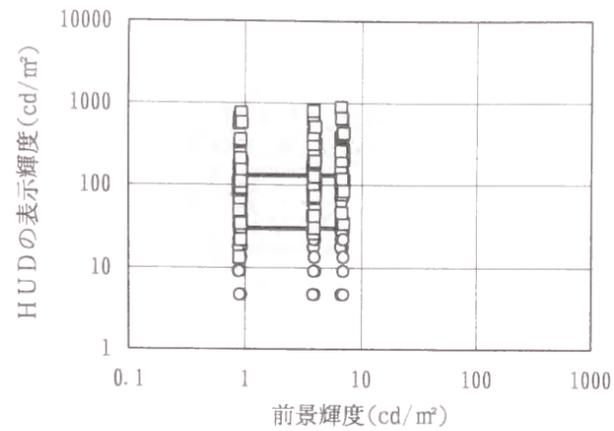


図7-6 HUDの明るさ感
(全観測者, 道路前景の場合)

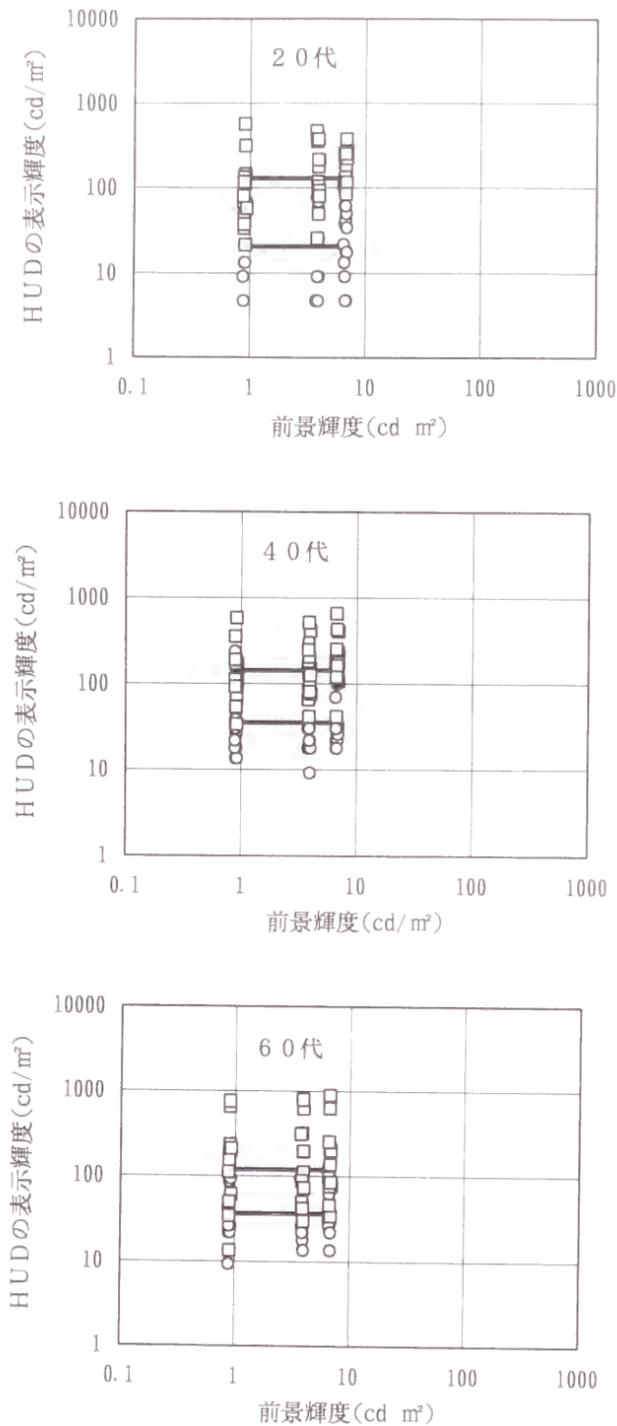


図7-7 年代別の明るさ感
(道路前景の場合)

逆に、下限（上昇系列時のデータを基にしたもの）については、上方向に移行している。道路前景の場合には、適切と判断する範囲の上限はあまり変わらないものの、下限を示す線が上方向に移行している。これらのことから、高齢者は若年齢者よりも明るい表示を望む一方、明るすぎることについては若年齢者よりも敏感であることがわかる。

一般的に、加齢により眼の水晶体が混濁して散乱光が生じ、不快グレアを感じやすくなるということが知られている。矢野らのデータ⁶⁾によれば、不快グレアレベルは相関色温度により異なるものの、若年齢者については約2300～3700 cd/m²の範囲であり、高齢者については約1300～2000 cd/m²の範囲であるとされている（いずれも暗黒背景の場合のデータ）。今回の適切な明るさと判断する表示輝度の上限は、この不快グレアのレベルよりは低い値を示している。このように低いレベルの明るさであっても、加齢によりその値が低下するという傾向が定性的に認められた。

また、逆に暗い方の表示輝度について考えると、高齢者の方が視覚系の絶対的な感度レベルが低下して明るさ知覚閾が高くなることが明らかにされている¹⁰⁾。今回の評価結果は観測者にとって望ましい明るさはどのようなべきかを求めたものであって、必ずしも、知覚閾を求めたわけではない。しかし、加齢により適切な明るさと判断する表示輝度の下限も高くなるという傾向が認められており、この結果は、従来の知覚閾に関する知見と定性的によく一致している。

7.3 HUDの煩わしさ感に関する基礎的実験

7.3.1 実験方法

埼玉県熊谷市にあるテストコースにおいて観測実験を行った。全体の実験状況を図7-8に示す。椅子に座った観測者（図中右側）が、机の上に置かれた平板な表示用板ガラスに表示されるHUDの虚像を観測する。実験実施者（図中左側）がHUDの表示位置等の実験条件を変更して実験を行い、観測者の評価データの収集を行う。観測者はあご台（高さ1.00m）にあごを乗せることにより頭部の位置を決定した。また、観測者の前方約50mの地点に小型乗用車を置き、観測者に対して、その方向を見るように指示をした。



図7-8 基礎的実験の実験状況

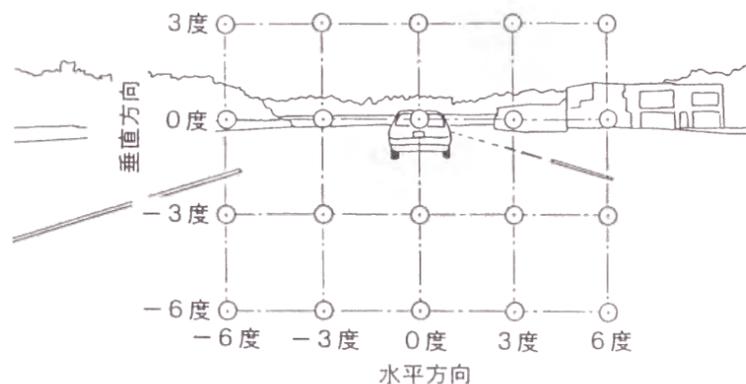


図7-9 HUDの表示位置

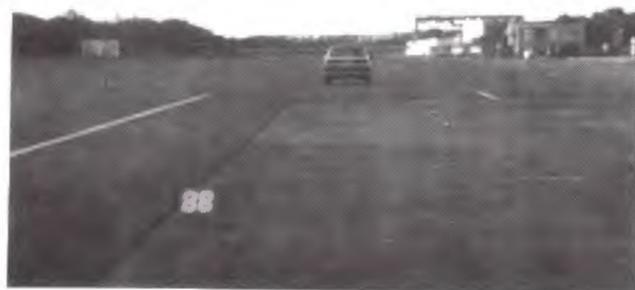


図7-10 HUDの表示例

HUDの表示位置は図7-9に示す20通りである。観測者の正面前方を原点として、水平方向については、視角で表現して左方向6度から右方向6度まで3度ずつの間隔で5種類とし、また、垂直方向については、下方向6度から上方向3度まで3度ずつの間隔で4種類とした。ここで、水平方向の角度については右側がプラス、垂直方向の角度については上側がプラスとする。それぞれの座標で示される表示位置に、HUDの表示像の中心が呈示されるようにした。20種類の表示位置のうち、水平線より下の10点については道路を前景としてHUDが表示された。表示状態の例（左方向6度、下方向6度の表示位置）を図7-10に示す。HUDの表示像は図7-10中に示すように「88」という数字である。緑色の蛍光表示管を利用して表示像を作成しており、観測方向から測定した表示輝度は 1600cd/m^2 （色度座標は $x=0.242$, $y=0.436$ ）であった（いずれも暗室内における実測値）。観測者からHUDの虚像までの距離は約 1.2m であり、また、観測者から見た場合の表示像「88」の縦方向の視角は 0.7 度、左右方向の視角は 1.2 度である。表示用板ガラスは、表面に酸化チタンを蒸着した反射率 20% のものであって、これを水平面から 31 度の傾きをもって設置しており、観測方向からの板ガラスの透過率は約 75% であった。

今回の3日間にわたる実験において、天候は晴れまたは曇りであって、照度計を天頂に向けて測定した水平面照度は、約 $5,000\sim 80,000\text{lx}$ の範囲であった。また、約 50m 離れた位置の路面輝度を測定した結果、約 $200\sim 3,700\text{cd/m}^2$ の範囲であった。

表7-3 煩わしさ感の評価基準

評価値	評価基準
0	煩わしくない
1	やや煩わしい
-2	かなり煩わしい
-3	非常に煩わしい
-4	極めて煩わしい

実験手順については、各表示位置について、HUDの表示を10秒間観測者に対して呈示した後、煩わしさの主観的評価（煩わしさ感）を表7-3に示す0から4までの整数値による評価基準により回答させた。20種類の表示位置を無作為に選定して観測者に対して呈示し、この煩わしさ感を評価させる実験を2回繰り返した。

観測者は、色覚正常な20代7名、30代3名、40代4名、50代1名の計15名（平均年齢34.1歳）である。同一表示位置における評価を2回行ったことから、一つの表示位置に関して、30件の評価データが得られた。

7.3.2 実験結果

煩わしさ感の5段階の評価基準のうち、どの範囲まで観測者にとって煩わしいと考えるかはさまざまに判断することができるが、本稿では、このうち、「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」及び「極めて煩わしい」の回答数の合計を考えて、煩わしさ感を検討することとする。逆にいえば、「煩わしくない」と「やや煩わしい」という評価結果については、観測者にとって煩わしさの問題がないと考えていることとなる。各表示位置における上述の3種類の回答数の合計を求めると図7-11のようになる。また、参考として、この3種類の回答数をそれぞれ示すと図7-12のようになる。図7-11の原点においては、「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」及び「極めて煩わしい」の3種類の回答数の合計が全回答数の30件となっている。この煩わしさ感の分布のようすをみると、原点における煩わしさ感が最も高く、左右または上下に離れるに従い低減していることがわかる。また、垂直方向よりも水平方向に煩わしさ感の分布が広がっている。

この評価結果は、視角で3度ずつとった表示位置における離散的なデータであるので、このデータを基にして、次式で示される2次元の結合正規分布¹²⁾により煩わしさ感の分布を近似してみる。ここで、水平方向をx軸、垂直方向をy軸とする。

$$z(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho_{xy}^2}} \exp\left[-\frac{\sigma_y^2(x-\mu_x)^2 - 2\sigma_x\sigma_y\rho_{xy}(x-\mu_x)(y-\mu_y) + \sigma_x^2(y-\mu_y)^2}{2\sigma_x^2\sigma_y^2(1-\rho_{xy}^2)}\right] \dots(7-1)$$

ここで、上式に含まれる5つのパラメータについては、次式のように求められる。

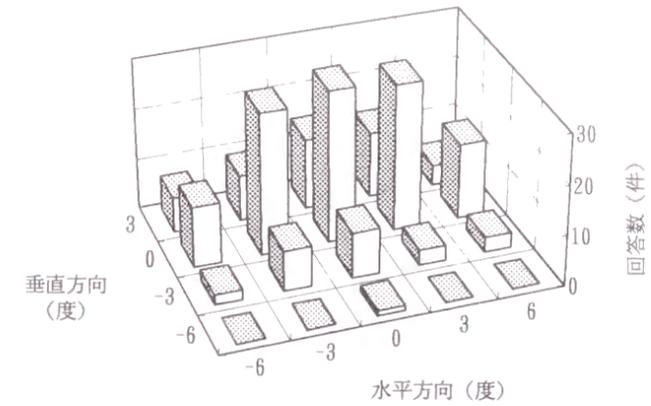


図7-11 煩わしさ感の評価結果

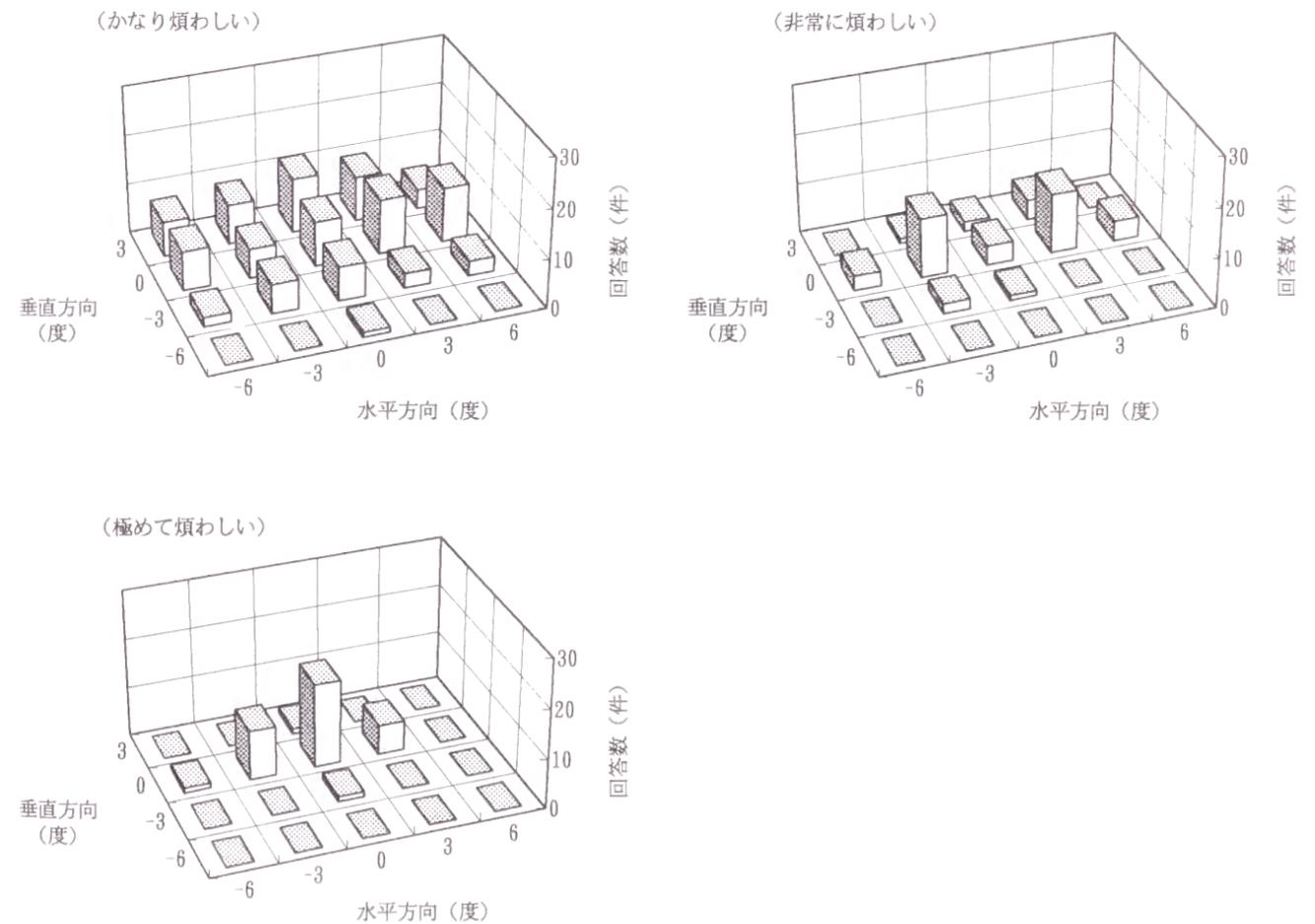


図7-12 煩わしさ感に関する3種類の評価基準の回答数

$$\left. \begin{aligned} E[x] &= \mu_x \\ E[y] &= \mu_y \\ E[(x - \mu_x)^2] &= \sigma_x^2 \\ E[(y - \mu_y)^2] &= \sigma_y^2 \\ E[(x - \mu_x)(y - \mu_y)] &= \sigma_x \sigma_y \rho_{xy} \end{aligned} \right\} \dots (7-2)$$

(ただし、 $E[\cdot]$ は期待値をとる操作を表す。)

今回の評価結果を基にして計算すると、これらのパラメータは、 $\mu_x = 0.03$, $\mu_y = 0.32$, $\sigma_x = 3.56$, $\sigma_y = 1.89$ 及び $\rho_{xy} = 0.006$ となる。xとyの平均は、ほぼ原点と一致していることがわかる。

ここで、式(7-1)で近似した2次元正規分布が実際の評価結果の分布に適合しているかどうかの問題が残るので、 χ^2 分布を利用した観察度数の期待度数への適合度に関する検定¹³⁾を行うことにより、これを検証する。「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」及び「極めて煩わしい」の回答数の各表示位置20点における合計を観察度数 f_i ($i=1 \sim 20$)とする。観察度数 f_i の全合計値は187件となった。また、2次元正規分布に基づき、各表示位置20点の $z(x, y)$ を求め、この値から各表示位置の期待度数 F_i ($i=1 \sim 20$)をその合計値が上述の187件となるように求める。この観察度数と期待度数とにより、次式から X^2 の値を求める。

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_i - F_i)^2}{F_i} \dots (7-3)$$

X^2 の分布は近似的に χ^2 分布をするので、両者の比較を行うことにより適合度の検定を行うことができる。今回のデータから式(7-3)に示す X^2 の値を求めると、 $X^2 = 17.47$ となる。一方、 χ^2 の自由度については、期待度数を求めるための拘束条件が6個(前記の5つのパラメータを求めるのに生じる拘束条件5個及びデータ総数から生じる拘束条件1個)であるので、 $20 - 6 = 14$ となる。また、有意水準を5%とすると $\chi^2 = 23.68$ となる。 X^2 と χ^2 の値を比較すると、 $X^2 < \chi^2$ が確かめられる。従って、上述の2次元正規分布で実際の評価結果の分布を近似できることが確認できた。

この2次元正規分布を、水平方向に-10度から10度まで、垂直方向に-6度から6度までの範囲で図示したものが図7-13である。ここで、一般性をもたせるた

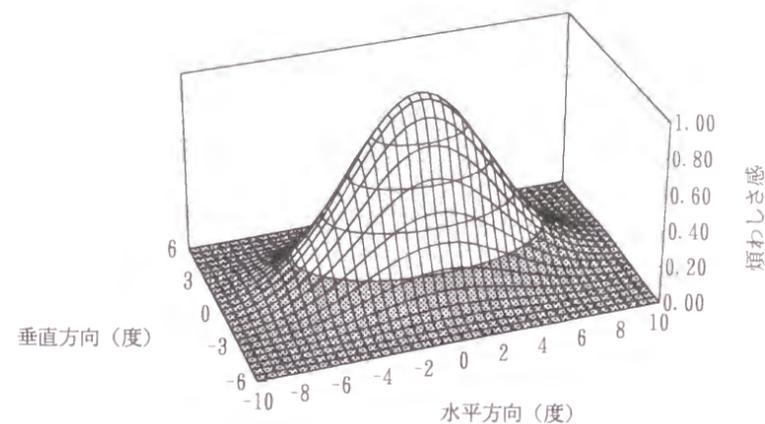


図7-13 2次元正規分布で近似した煩わしさ感

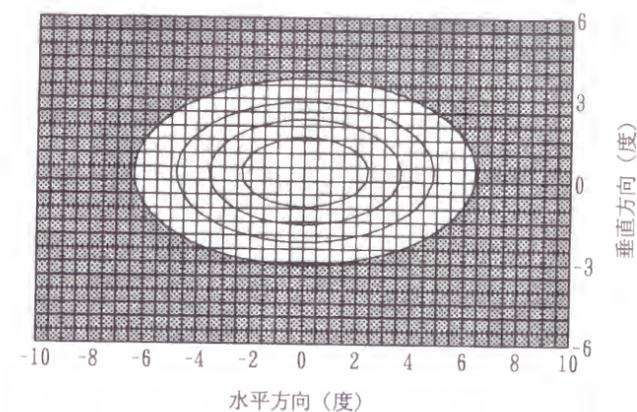


図7-14 煩わしさ感の平面図

め、z軸については回答数そのものではなく回答数の比率で表している。すなわち、各表示位置における「かなり煩わしい」、「極めて煩わしい」及び「非常に煩わしい」の回答数の合計をその表示位置の全回答数で除した比率で表している。図7-1-1中で原点における上述の3評価値の回答数の合計が全回答数30件と等しかったことを考慮して、図7-1-3中のz軸の最大値を1.0としている。図中には煩わしさ感に関する0.2間隔の等高線も示している。同じ2次元正規分布を平面図で表したものが図7-1-4である。同様に、煩わしさ感に関する0.2間隔の等高線を示している。参考として、図7-1-3及び図7-1-4中で煩わしさ感が0から0.2までの範囲を灰色の部分で示している。すなわち、「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」及び「極めて煩わしい」の3つの評価結果の合計が、全回答数に対して20%を越えない範囲を示す。別の言い方をすれば、「煩わしくない」と「やや煩わしい」の評価結果の合計が80%を越える範囲を示す。この範囲に関しては、煩わしさの問題が少ないと考えられ、たとえば、 $x=0$ における垂直方向に関しては、下方向に約3度より下側、上方向に約3.5度より上側の範囲であることがわかる。

さて、式(7-2)の計算結果をみると、 x と y との相関係数 ρ_{xy} がほとんど0であることから、2次元正規分布であるという前提の基に、 x と y は独立の関係にあると考えられる。すなわち、 x 軸に関する煩わしさ感の分布 $z(x)$ と y 軸に関する煩わしさ感の分布 $z(y)$ とを求めれば、全体の2次元的な正規分布 $z(x,y)$ が $z(x,y)=z(x)z(y)$ として求められることとなる。従って、水平方向と垂直方向についてそれぞれ独立に煩わしさ感の分布を求めれば、全体の2次元的な正規分布を推定することが可能であり、実験時のデータ収集の効率化を図ることができると考えられる。

7.3.3 評価値を乗じた解析結果

今までの解析においては、観測者の評価結果のうち、「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」及び「極めて煩わしい」の3種類の回答数の合計を考えた。しかし、評価結果の取り扱いの方法には、このほかにもさまざまな方法が考えられる。たとえば、各評価基準の尺度の間隔が等しいという前提のもとに、各評価基準の回答数に評価値を乗じて重み付けを行い、その値の合計をとることも考えられる。この検討結果について示すと次のようになる。「極めて煩わしい」の回答数に4を乗じ、「非常に煩わ

しい」の回答数に3を乗じ、「かなり煩わしい」の回答数に2を乗じ、「やや煩わしい」の回答数に1を乗じ、「煩わしくない」の回答数に0を乗じてその合計値を求め、重み付けを行った煩わしさ感とする。ここで、今回は煩わしさについて検討しているため、乗じる値はプラスの値としている。この重み付けを行った煩わしさ感を図7-1-5に示し、また、2次元正規分布により近似した結果を図7-1-6及び図7-1-7(z軸の最大値を1.0としている)に示す。前述の図7-1-3及び図7-1-4と同様に、図7-1-6及び図7-1-7においても、0.2間隔の等高線を示し、また、0から0.2までの範囲を灰色の部分で示している。これらの図からわかるように、重み付けを行った煩わしさ感の分布は、前述(図7-1-3、図7-1-4)の煩わしさ感の分布と定性的に類似しており、原点における値が最も高く、左右または上下に離れるに従い低減している。また、灰色で示した範囲に関しては煩わしさの問題が少ないと考えられ、たとえば、 $x=0$ における垂直方向に関しては、下方向に約4.5度より下側、上方向に約4度より上側の範囲となっている。

一般的に、煩わしさ感の分布に関する解析方法については様々なデータの取り扱い方法が考えられ、逆にいえば、決定的な解析方法が存在しないため、以後の解析にあたっては、回答数を単純に合計する評価方法と、重み付けを行った煩わしさ感を求める評価方法との両方を考えることとして、解析結果の妥当性を確認していくこととする。

7.4 運転者の眼の位置の影響

7.4.1 運転者の眼の位置の考え方

これまでの議論は、観測者のあごがあご台で支持された実験を基にしており、観測者の眼の位置が一定であるという前提であった。しかし、実際の自動車においては、さまざまな体格、運転姿勢の人が運転することから、運転者の眼の位置が異なることとなる。HUDの表示像に関しては、表示装置の光学的歪みを無視すれば、その虚像の位置は変わらない。従って、運転者の眼の位置により、虚像の見える方向の視角が異なることとなる。一般的に、HUDの表示装置を車両のインストルメントパネルに組み込むことを考えると、運転者の眼の位置よりも下方向にHUDを表示する場合は

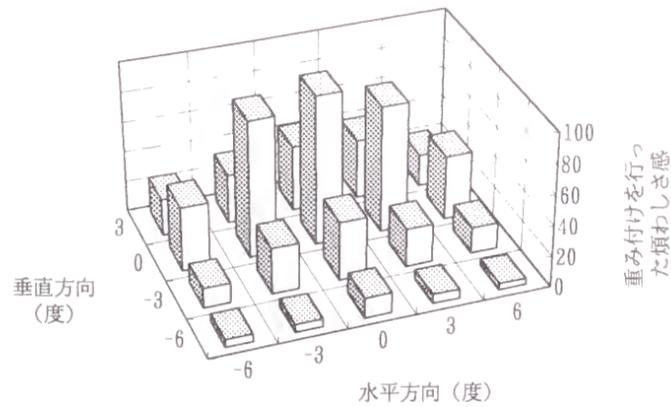


図7-15 重み付けを行った煩わしさ感の分布

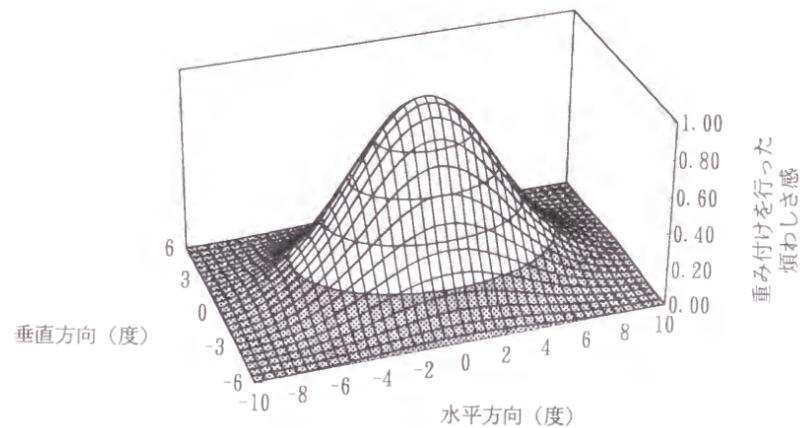


図7-16 2次元正規分布で近似した重み付けを行った煩わしさ感

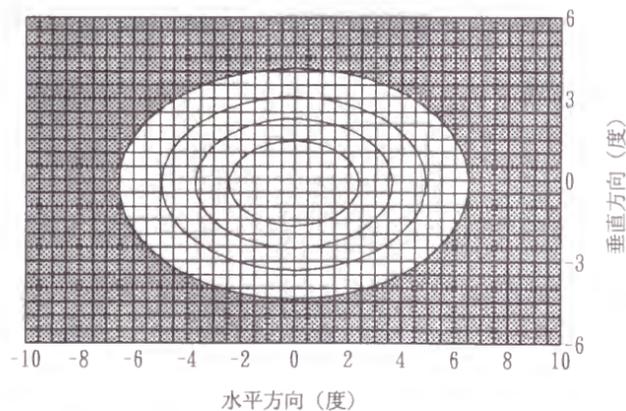


図7-17 重み付けを行った煩わしさ感の平面図

多いと考えられる。従って、ここでは、垂直方向において下側にHUDが表示される場合の問題点を考えることとする。本節においては、視角について俯角で記述する。俯角が大きいということは、これまでの視角の表現でいえば、マイナス方向に角度が大きいことに相当する。

さて、自動車設計時には、基準アイポイントにより運転者の視野を考える場合が多い。基準アイポイントよりも高い眼の位置の人はHUDの虚像に対する俯角が大きくなり、逆に基準アイポイントよりも低い眼の位置の人は俯角が小さくなることになる(図7-18)。煩わしさ感を考えた場合には、基準アイポイントよりも低い眼の位置の場合には、HUDの表示像が正面前方の原点に近づいて見えることとなり、煩わしさ感が増大して感じられることになる。ここで、眼の位置の高さによるHUDの表示位置の見かけ上の変化は、眼の位置の高さだけではなく、眼の位置からHUDの虚像にいたる水平距離にも関連している。

運転者の眼の位置の高さによるHUDの表示像に対する俯角の変化を調べるため、第2章で説明したアイリップスを使用する。使用するアイリップスの条件は、通常の小型乗用車の値を参考にして以下のとおりとする。前席H点の前後方向水平移動量¹⁴⁾が165mmのときの95パーセントの側面図(図7-19)とし、また、シートバック角度は25度とする。このとき、基準アイポイントの位置はアイリップスの側面図における基準線X-XとZ-Zの交点と一致する。

7.4.2 解析結果

ここで、基準アイポイントから俯角4度、5度、6度及び7度の位置に見えるHUDの虚像について検討する。基準アイポイントからHUDの虚像までの水平距離を0.8mから4mまで変化させた場合に、HUDの虚像の位置から95パーセントのアイリップス下端にいたる接線を引き、この接線の水平線からの角度(俯角)の変化を示したのが図7-20である。これからわかるように、各設定俯角の場合に、低い眼の位置から見た場合には、基準アイポイントからの俯角よりも小さな俯角でHUDの虚像が見えることとなる。特に、基準アイポイントからHUDの虚像までの距離が近い場合には俯角が小さくなる。すなわち、運転者の正面前方に近く感じられることとなる。たとえば、基準アイポイントから見て俯角5度及びHUD虚像位置が1mの距

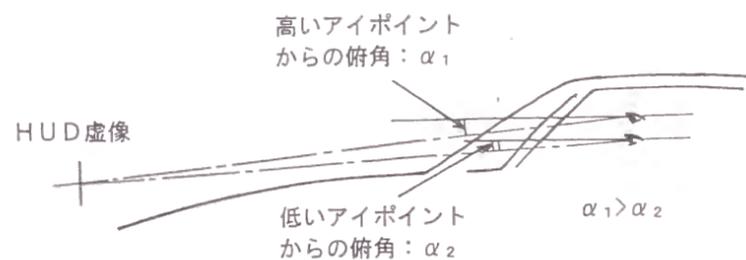


図7-18 眼の位置の高さによる俯角の差

(前席H点の前後方向水平移動量 165mm)

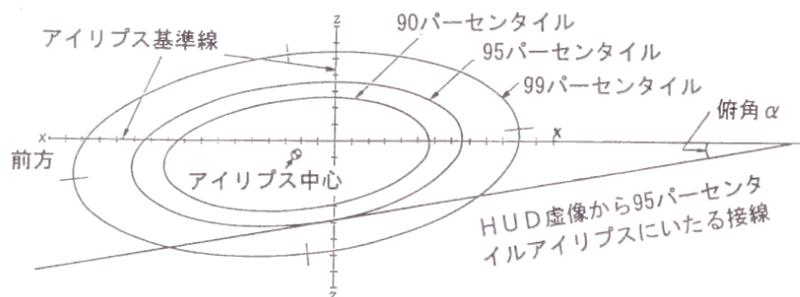


図7-19 アイリプス側面図

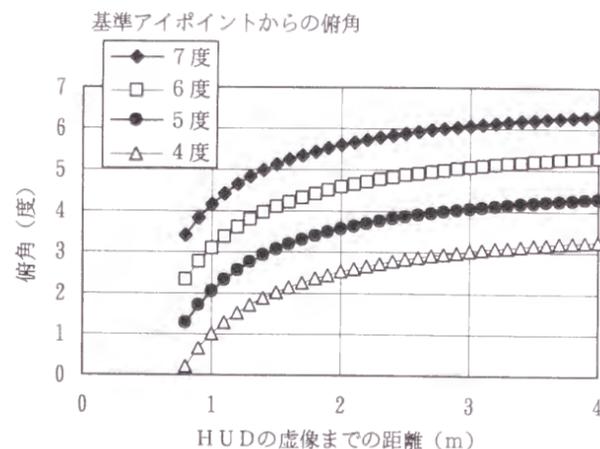


図7-20 HUDの虚像に対する俯角の変化

離の表示については、95パーセンタイルのアイリプスにより検討すると、俯角2.1度に見えることとなる。95パーセンタイルのアイリプスで考えるということは、眼の位置について低い側の範囲の5%の人(正確には、アイリプスへの接線に関して、アイリプスのない側の範囲に眼の位置が分布する人が5%存在し、これらの人)はこの2.1度の俯角よりも小さい俯角でHUDを見ていることになる。従って、煩わしさ感から考えると、基準アイポイントの運転者にとってはほとんど問題がないものの(図7-13, 図7-14において水平方向0度, 下方向5度の点の煩わしさ感 α は0.02), 眼の位置の低い運転者にとっては、煩わしく感じられることとなる(図7-13, 図7-14において水平方向0度, 下方向2.1度の煩わしさ感 α は0.47)。

以上のように、眼の位置が低い場合であっても、HUDの虚像に対する俯角の変化を少なくするためには、運転者から前方に遠く離れた位置に虚像を表示した方がよい。しかし、あまり遠くに表示しても運転者にとって違和感があるという報告もあるので¹⁵⁾、適当な距離に表示することが望ましい。図7-20から考えると、少なくとも、俯角の著しい変化がなくなる約1.5m以上離れた位置にHUDの虚像が表示されるのが望ましいと考えられる。あるいは、運転者の眼の位置の高さによって、HUDの表示位置を調整できる構造とすることも、俯角の変化を少なくするための一つの方策であると考えられる。

7.5 HUDの表示輝度と観測者の年齢の影響

本節においては、室内実験を行うことにより、HUDの表示輝度、観測者の年齢の要因が煩わしさ感に及ぼす影響について明らかにする。

7.5.1 室内実験方法

照明を消した暗室内で観測実験を行った。7.3節で報告したテストコースにおける実験状況を再現するために、テストコース上の観測者の視点からの前方風景をビデオカメラにより撮影して、これを室内実験において、観測者から約5.6m離れたスクリーンに投影した。テストコース上で前方をみるのに目標とした50m先の小型乗用車の大きさがほぼ同じ視角(車幅で約1.8度)で再現できるようにビデオカメラの撮影及び室内実験装置の設定を行った。実験にあたっては、観測者に対して、この

車両を見るように指示をした。使用したHUDの装置は屋外実験時と同一のものであって、「88」という表示像を平板な板ガラスに呈示するものである。全体の実験状況を図7-21に示し、HUDの表示の例を図7-22に示す。観測者は、高さ1.00mのあご台にあごを乗せて頭部の位置を決定した。テストコース上の風景に関しては、水平方向について右側には建築物、左側には雑木林があった。この左右の風景の違いが評価結果に及ぼす影響を避けるため、観測者の半数に関しては、ビデオの風景画像を左右反転させて投影した。

HUDの表示は緑色の蛍光表示管を利用しており、表示輝度を5種類(21, 43, 85, 166, 311cd/m²)とし、それぞれ約2倍ずつの表示輝度となるようにした。表示輝度の設定にあたっては、7.2節の実験結果を参考にして、適切な明るさと感じられる表示輝度を含む範囲とした。色度座標は、表示輝度によって多少異なるものの、およそ、 $x=0.24, y=0.43$ であった(表示輝度及び色度座標については、いずれも暗室内で前方スクリーンの明るさの影響をうけない状態で測定した値である)。また、スクリーン上の風景画像の輝度は、測定個所によっても異なるが、正面前方付近で約1.0cd/m²、下側の表示位置となる道路部分で約1.0cd/m²、上側の表示位置となる天空部分で約2.0cd/m²であった。スクリーン上の全体の輝度については、約6~24cd/m²の範囲であった。

観測者とHUDの虚像との位置関係、HUDの像の大きさ等については、7.3節の屋外における基礎的実験時の条件を再現するようにしている。

HUDの表示位置は図7-23に示す9通りである。表示位置に関しては、観測者の正面前方を原点として、水平方向(x軸、右側をプラス)について、左6度から右6度まで3度ずつの間隔で5種類とし、また、垂直方向(y軸、上側をプラス)の視角については、下6度から上6度まで3度ずつの間隔で5種類とした。水平方向及び垂直方向のみで評価結果を求めたのは、7.3節において両者の評価結果はそれぞれ独立であって、それらの評価結果から2次元的な分布をほぼ推定できることが明らかとなったからである。

実験手順については、各表示位置について、HUDの表示を10秒間観測者に対して呈示した後、煩わしさ感の主観的評価結果を前述の表7-3に示す0から4まで



図7-21 室内実験状況



図7-22 HUDの表示例

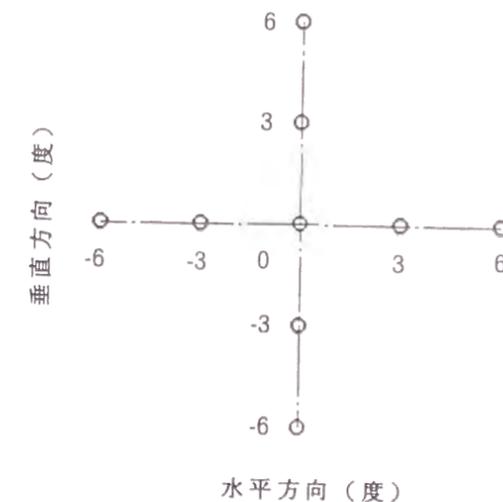


図7-23 室内実験時のHUDの表示位置

の整数値による評価基準により回答させた。9種類の表示位置を無作為に選定して観測者に対して呈示し、煩わしさ感を評価させる実験を繰り返した。

観測者は、色覚正常な20代10名（平均年齢25.8歳）、40代10名（平均年齢44.0歳）、60代10名（平均年齢62.7歳）の計30名である。同一表示位置において表示輝度を5種類ずつ設定したことから、観測者一人あたりについて計45回の観測実験となった。各表示位置に関しては、表示輝度が5種類、観測者が30名であることから、合計150件のデータが得られた。

7.5.2 実験結果による煩わしさ感の全般的傾向

7.3節で述べたように、「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」及び「極めて煩わしい」の回答数の合計をとり、煩わしさ感を検討することとする。この3種類の回答数の合計を、5種類の表示輝度及び全観測者の総計として図示すると図7-24のようになる。原点における回答数が最も多く、左右または上下に離れるに従い回答数が低減することがわかる。また、左右方向及び上下方向について、それぞれほぼ対称であることがわかる。このように、7.3節で求めた煩わしさ感の分布に関する定性的な特徴が再現されている。

一方、各評価基準の回答数に評価値を乗じて重み付けを行い、その値の合計をとる方法により煩わしさ感を求めたものについても図7-25に示す。分布の特性は、図7-24に示す結果と類似していることがわかる。

7.5.3 表示輝度の影響

5種類の表示輝度ごとの「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」と「極めて煩わしい」の回答数の合計を図7-26に示す。各表示位置の回答数の最大値は、観測者数30名に対応して、30件である。表示輝度が高くなるにつれて、少しずつ煩わしさ感が高くなることがわかる。

表示輝度による回答数の差を統計的に調べるため、ここで、第4章で述べた方法により2つの母集団における比率の差に関する検定を行う。すなわち、2つの母集団において、対象となる事象の母比率をそれぞれ P_1 、 P_2 とするとき、「 $P_1 = P_2$ 」という帰無仮説をたてて、次式で求められる頻度分布が、平均0、標準偏差1の正規分布曲線で近似できることを利用して、帰無仮説が棄却されるかどうかを調べるというも

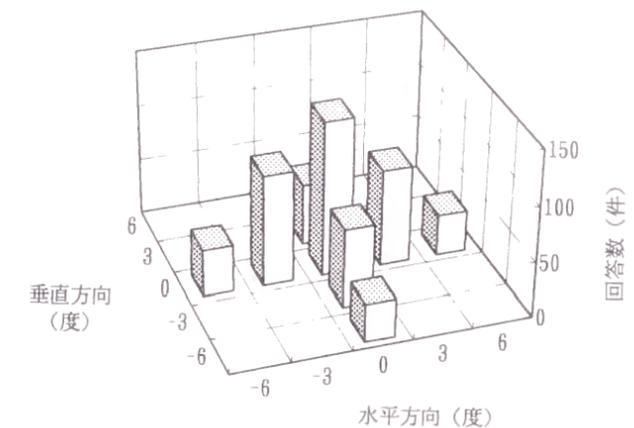


図7-24 煩わしさ感の評価結果
（「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」、「極めて煩わしい」の回答数の合計）

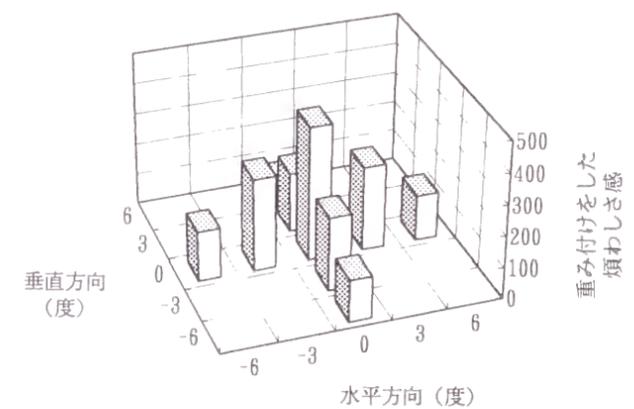


図7-25 重み付けをした煩わしさ感

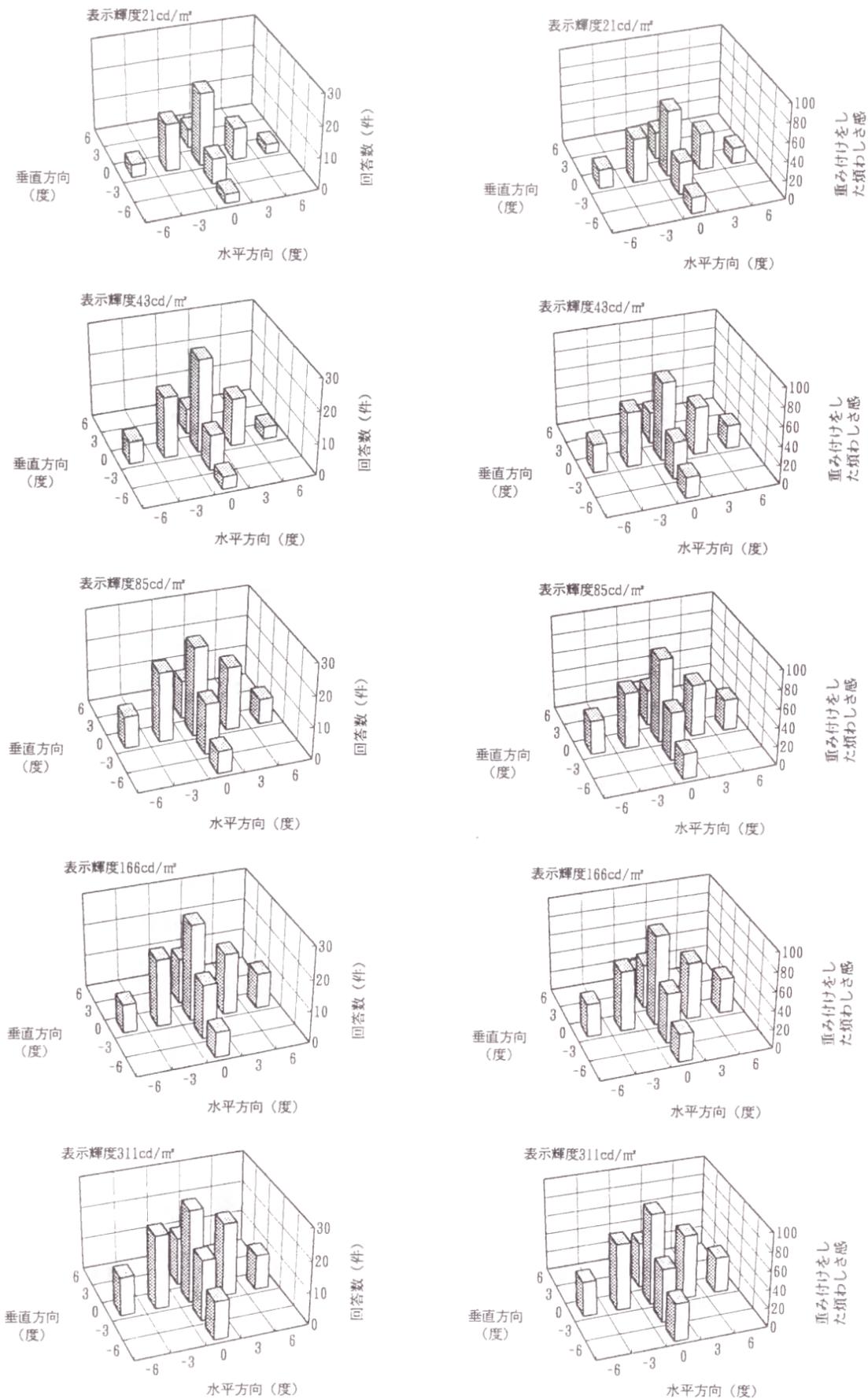


図7-26 煩わしさ感の表示輝度による比較
 (「かなり煩わしい」, 「非常に煩わしい」,
 「極めて煩わしい」の回答数の合計)

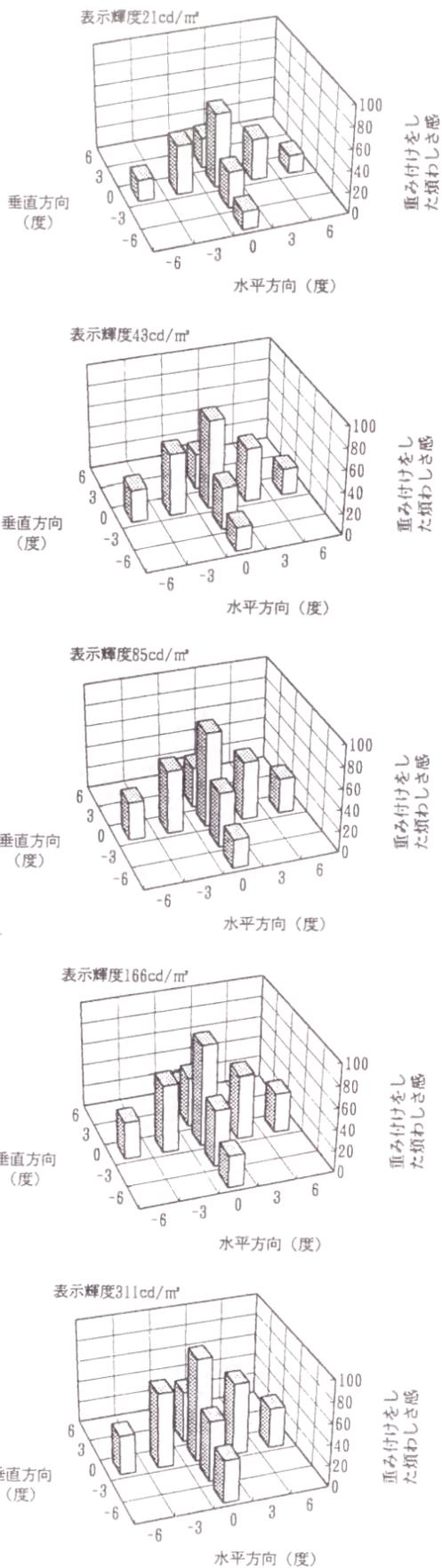


図7-27 重み付けをした煩わしさ
 感の表示輝度による比較

表7-4 表示輝度による回答数の差の検定結果

表中の*は有意水準10%, **は有意水準5%, ***は有意水準1%で回答数が等しいという帰無仮説が棄却されることを示す。-は有意水準10%で棄却されないことを示す。

(1) 表示位置 (x = -6度、y = 0度) の場合

表示輝度	21 cd/m ²	43 cd/m ²	85 cd/m ²	166 cd/m ²	311 cd/m ²
21 cd/m ²	-	-	*	-	**
43 cd/m ²	-	-	-	-	-
85 cd/m ²	-	-	-	-	-
166 cd/m ²	-	-	-	-	-
311 cd/m ²	-	-	-	-	-

(2) 表示位置 (x = -3度、y = 0度) の場合

表示輝度	21 cd/m ²	43 cd/m ²	85 cd/m ²	166 cd/m ²	311 cd/m ²
21 cd/m ²	-	-	*	-	**
43 cd/m ²	-	-	-	-	-
85 cd/m ²	-	-	-	-	-
166 cd/m ²	-	-	-	-	-
311 cd/m ²	-	-	-	-	-

(3) 表示位置 (x = 0度、y = 0度) の場合

表示輝度	21 cd/m ²	43 cd/m ²	85 cd/m ²	166 cd/m ²	311 cd/m ²
21 cd/m ²	-	**	*	***	**
43 cd/m ²	-	-	-	-	-
85 cd/m ²	-	-	-	-	-
166 cd/m ²	-	-	-	-	-
311 cd/m ²	-	-	-	-	-

(4) 表示位置 (x = 3度、y = 0度) の場合

表示輝度	21 cd/m ²	43 cd/m ²	85 cd/m ²	166 cd/m ²	311 cd/m ²
21 cd/m ²	-	-	***	**	***
43 cd/m ²	-	-	-	-	**
85 cd/m ²	-	-	-	-	-
166 cd/m ²	-	-	-	-	-
311 cd/m ²	-	-	-	-	-

(5) 表示位置 (x = 6度、y = 0度) の場合

表示輝度	21 cd/m ²	43 cd/m ²	85 cd/m ²	166 cd/m ²	311 cd/m ²
21 cd/m ²	-	-	*	**	**
43 cd/m ²	-	-	-	**	**
85 cd/m ²	-	-	-	-	-
166 cd/m ²	-	-	-	-	-
311 cd/m ²	-	-	-	-	-

(6) 表示位置 (x = 0 度、y = 6 度) の場合

表示輝度	21 cd/m ²	43 cd/m ²	85 cd/m ²	166 cd/m ²	311 cd/m ²
21 cd/m ²	-	-	-	*	***
43 cd/m ²	-	-	-	-	**
85 cd/m ²	-	-	-	-	-
166 cd/m ²	-	-	-	-	-
311 cd/m ²	-	-	-	-	-

(7) 表示位置 (x = 0 度、y = -3 度) の場合

表示輝度	21 cd/m ²	43 cd/m ²	85 cd/m ²	166 cd/m ²	311 cd/m ²
21 cd/m ²	-	-	**	**	***
43 cd/m ²	-	-	-	-	**
85 cd/m ²	-	-	-	-	-
166 cd/m ²	-	-	-	-	-
311 cd/m ²	-	-	-	-	-

(8) 表示位置 (x = 0 度、y = 3 度) の場合

表示輝度	21 cd/m ²	43 cd/m ²	85 cd/m ²	166 cd/m ²	311 cd/m ²
21 cd/m ²	-	-	*	**	**
43 cd/m ²	-	-	-	-	*
85 cd/m ²	-	-	-	-	-
166 cd/m ²	-	-	-	-	-
311 cd/m ²	-	-	-	-	-

(9) 表示位置 (x = 0 度、y = 6 度) の場合

表示輝度	21 cd/m ²	43 cd/m ²	85 cd/m ²	166 cd/m ²	311 cd/m ²
21 cd/m ²	-	-	-	-	-
43 cd/m ²	-	-	-	-	-
85 cd/m ²	-	-	-	-	-
166 cd/m ²	-	-	-	-	-
311 cd/m ²	-	-	-	-	-

のである。

$$z = \frac{P_1 - P_2}{\sqrt{\frac{P_1(1-P_1)}{n_1} + \frac{P_2(1-P_2)}{n_2}}} \quad \dots (7-4)$$

ここで、 $P_i = k_i/n_i$

(n_i は母集団*i*における標本数、 k_i は母集団*i*における事象の数を表す。)

今回の各表示輝度の組について、回答数の比率の差に関する検定を行うと表7-4のようになる。表中において、*は有意水準10%、**は有意水準5%、***は有意水準1%で「回答数が等しい」という帰無仮説が棄却されることを示す。また、-は有意水準10%で帰無仮説が棄却されないことを示す。この結果、表示輝度に大きな差がある場合には回答数に有意な差が生じているものの、条件によっては統計的に有意な差を示さない場合もあることがわかる。従って、今回の表示輝度の範囲の変化であれば、表示輝度によって少しずつ煩わしさ感が高くなるものの、それほど大きく評価結果が異なるわけではないといえる。

重み付けをした煩わしさ感についても(図7-27)、同様に、表示輝度が高くなるにつれて、少しずつ煩わしさ感が高くなることが認められる。

7. 5. 4 観測者の年齢による影響

「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」及び「極めて煩わしい」の回答数の合計に関し、観測者の年代別による差異を図示すると、図7-28のようになる。データのばらつきはあるものの、20代、40代及び60代について、特に顕著な差は認められない。

次に、「非常に煩わしい」と「極めて煩わしい」の回答数の合計を年代別に図示すると、図7-29のようになる。正面前方の原点付近についてみると、20代の煩わしさ感の回答数は多くないものの、40代、60代となるにつれて、煩わしさ感が増大することが明確に認められる。原点における回答数については、20代の場合20件、40代の場合33件及び60代の場合41件となっている(回答数の最大値は、表示輝度5種類、各年代別観測者数10名であることから、50件である)。また、

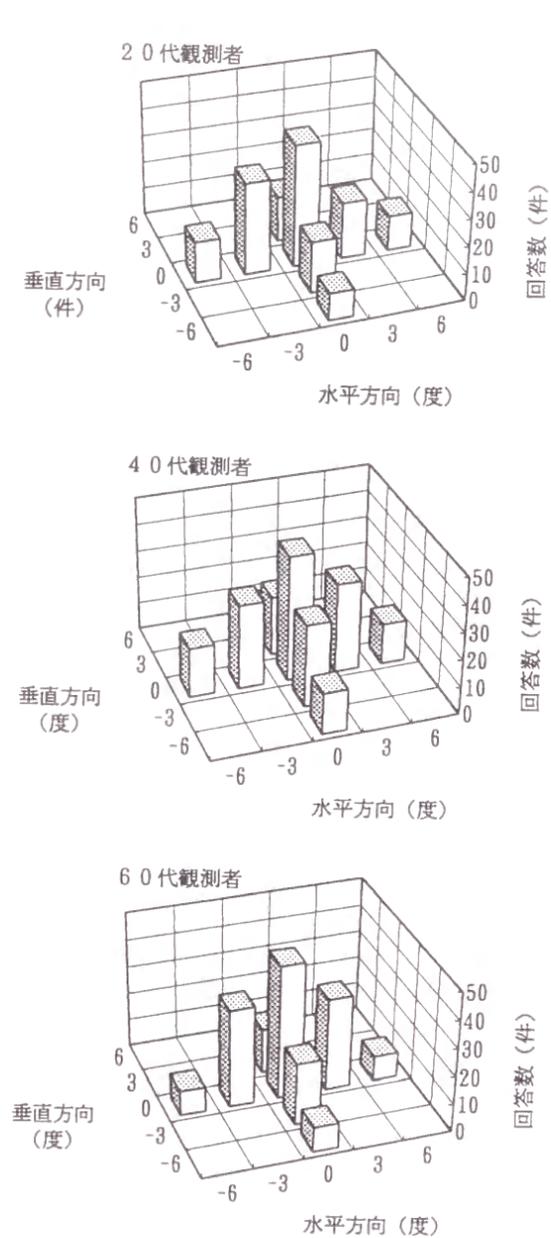


図7-28 煩わしさ感の年代別の比較
 (「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」、
 極めて煩わしい」の回答数の合計)

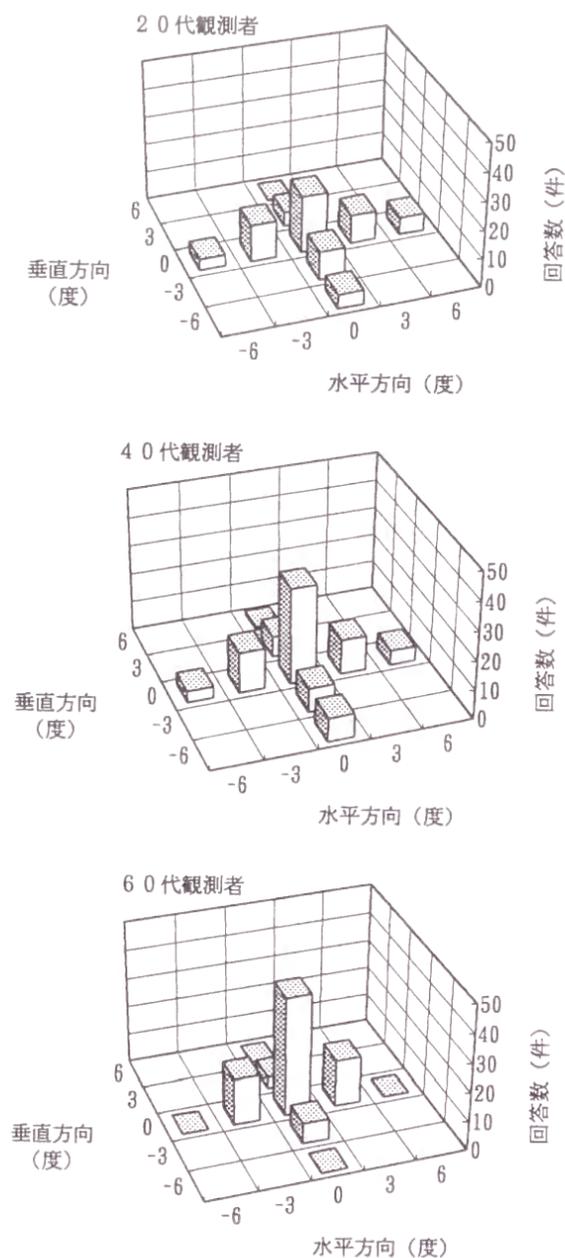


図7-29 煩わしさ感の年代別の比較
 (「非常に煩わしい」、「極めて煩
 わしい」の回答数の合計)

逆に、原点から離れた周辺の表示位置については、60代観測者の場合には煩わしさ感が低下する傾向が認められる。

前述と同じ方法により、観測者の年齢による回答数の差の有無を統計的に調べると表7-5のようになる。表7-5に示されるように、原点においては、各年代の間で統計的に有意な差が認められる。また、表示位置(x=0度, y=6度)の点を除けば、原点から離れた周辺の表示位置では、60代観測者の場合に他の20代、40代の場合と比べて有意に差がある(回答数が少ない)ことがわかる。

このように、高齢者ほど、原点付近の煩わしさを強く感じやすくなり、逆に、周辺の表示位置ではあまり煩わしさを感じないといえる。

重み付けをした煩わしさ感についても(図7-30)、原点において、年齢が高くなるにつれて煩わしさ感が高くなる傾向が認められる。

高齢者は一般的に、加齢により眼の水晶体が混濁して散乱光が生じ、若年齢者よりも不快グレアを感じやすくなることが知られている⁶⁾。また、高齢者の場合、周辺視野の感度が低下して、有効視野が狭くなることも知られている¹⁶⁾。今回の評価結果は、高齢者の視覚に関するこれらの一般的傾向と関係しているものと推測される。

7.6 走行時の煩わしさ感の変化

本節においては、実際に車両に乗車した場合に、停車時と運転時とで煩わしさ感がどのように変化するかを検討を行う。

7.6.1 実験方法

この実験では、テストコース上で、観測者が実際の車両(小型乗用車)に乗車し、停車時と運転時とでそれぞれHUDを観測した。実験に使用した車両は、観測者が乗車する観測車両及びその前方50mの位置にある先行車両との2台である。先行車両については、観測者が前方を見るときに目標にするとともに、運転時には観測車両が追隨して走行した(図7-31)。

今回、虚像を表示するHUDの装置を車室内の任意の位置に設置することが困難であったため、透明フィルムを利用した模擬的なHUDをウィンドシールド上に貼り付けて代用した。表示位置に関しては、観測者両の基準アイポイントからの正面前方を

表7-5 観測者の年齢による回答数の差の検定結果

(「非常に煩わしい」と「極めて煩わしい」の回答数の合計に関する検定)

表中の*は有意水準10%, **は有意水準5%, ***は有意水準1%で「回答数が等しい」という帰無仮説が棄却されることを示す。-は有意水準10%で棄却されないことを示す。

(1) 表示位置(x = -6度、y = 0度)の場合

観測者の年齢	20代観測者	40代観測者	60代観測者
20代観測者		-	**
40代観測者			**
60代観測者			

(2) 表示位置(x = -3度、y = 0度)の場合

観測者の年齢	20代観測者	40代観測者	60代観測者
20代観測者		-	-
40代観測者			-
60代観測者			

(3) 表示位置(x = 0度、y = 0度)の場合

観測者の年齢	20代観測者	40代観測者	60代観測者
20代観測者		***	***
40代観測者			*
60代観測者			

(4) 表示位置(x = 3度、y = 0度)の場合

観測者の年齢	20代観測者	40代観測者	60代観測者
20代観測者		-	-
40代観測者			-
60代観測者			

(5) 表示位置(x = 6度、y = 0度)の場合

観測者の年齢	20代観測者	40代観測者	60代観測者
20代観測者		-	***
40代観測者			**
60代観測者			

(6) 表示位置(x = 0度、y = -6度)の場合

観測者の年齢	20代観測者	40代観測者	60代観測者
20代観測者		-	**
40代観測者			***
60代観測者			

(7) 表示位置(x = 0度、y = -3度)の場合

観測者の年齢	20代観測者	40代観測者	60代観測者
20代観測者		-	
40代観測者			-
60代観測者			

(8) 表示位置(x = 0度、y = 3度)の場合

観測者の年齢	20代観測者	40代観測者	60代観測者
20代観測者		-	-
40代観測者			-
60代観測者			

(9) 表示位置(x = 0度、y = 6度)の場合

観測者の年齢	20代観測者	40代観測者	60代観測者
20代観測者		-	-
40代観測者			-
60代観測者			

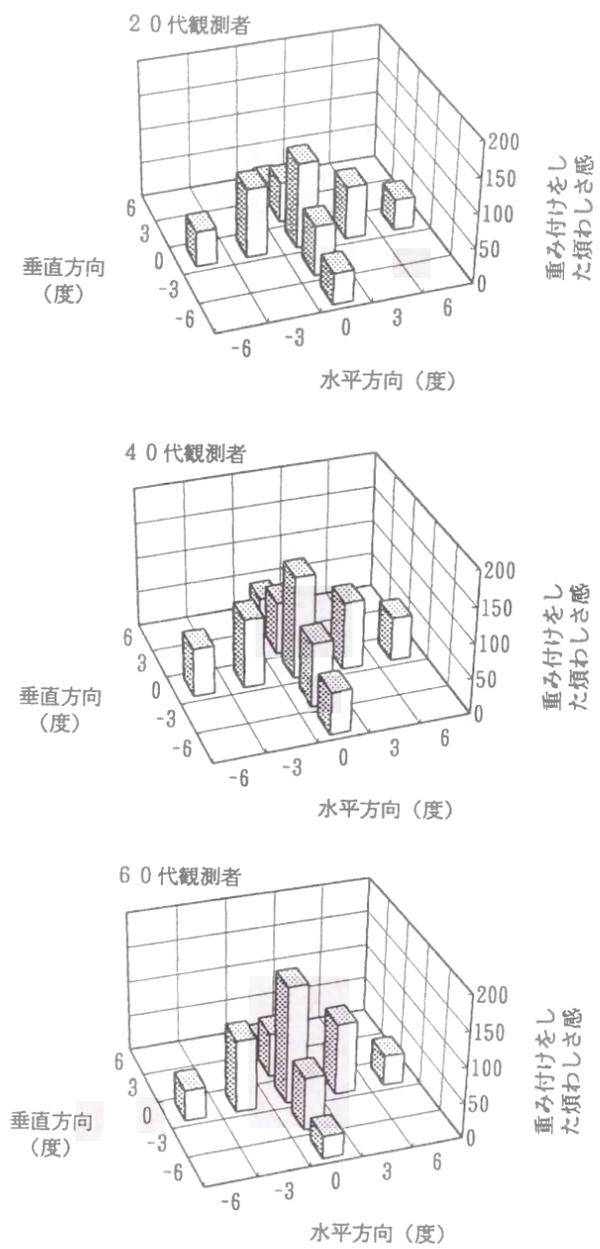


図7-30 重み付けをした煩わしさ感の年代別の比較



図7-31 テストコースにおける実験状況 (観測車両と先行車両)

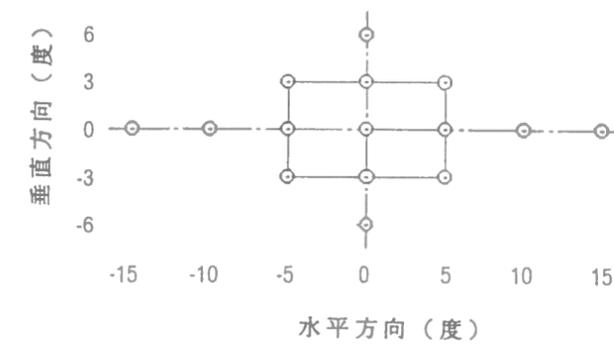


図7-32 テストコースにおける実験時のHUDの表示位置

原点として、水平方向（x軸上）には、基準アイポイントからの視角で表現して、15度から15度まで5度刻みで7点、垂直方向（y軸上）には16度から6度まで3度刻みで5点とした（図7-32）。また、その他、参考として、（x=-5度、y=-3度）、（x=-5度、y=3度）、（x=5度、y=-3度）、（x=5度、y=3度）の4点も付加した。水平方向と垂直方向について原点は重複するので、表示位置の数は計15点となった。これらの表示位置について無作為の順序で観測者に対して呈示した。HUDの表示像はこれまでと同じ形状で緑色の「88」という数字である。表示像の大きさについては、いままでとほぼ同じ大きさとなるようにして、正面前方の原点において、垂直方向に約0.8度、水平方向に約1.3度となるようにした。

観測者は、車両を停止した状態で評価する実験と60km/hで運転した状態で評価する実験との2種類の実験をそれぞれ2回ずつ繰り返した。約10秒間HUDの表示像を観測した後、観測者は煩わしさ感に関する評価結果を表7-3と同じ基準で回答した。

観測者は色覚正常な男性14名（20代12名、40代2名、平均年齢27.1歳）であり、従って、1つの表示位置に関して28個のデータが得られた。実験時の天候は、晴れまたは曇りであった。

今回の実験においては、透明フィルムをウィンドシールドに貼り付けて代用としたので、通常のHUDによる実験と比較して、以下の3点の違いがある。

（1）今回の模擬的なHUDに関しては、通常のHUDのように明るく表示を行うというのではなく、逆に、数字の部分が暗くなるというものである。透明フィルムの地の部分の透過率は93%、緑色の数字部分の透過率は47%であった。

（2）ウィンドシールド上に模擬HUDを貼り付けることから、基準アイポイントから表示位置までの距離が短い。たとえば、基準アイポイントからウィンドシールド上の原点表示位置までの距離は約0.56mであった。通常のHUDであれば、表示位置までの距離は一般的にもっと長い。

（3）ウィンドシールドは、運転者に対して傾いて取り付けられており、また、複雑な曲面形状をしている。従って、基準アイポイントからウィンドシールド上の表示位置までの距離が、各表示位置に関して、少しずつ異なる。このため、透明フィルム上

での数字の大きさが同じ場合、表示位置により、表示大きさも見かけ上異なって見えることとなる。今回は、透明フィルム上での大きさが少し異なる2種類の模擬的なHUDを使いわけることにより、表示位置による見かけ上の表示大きさの差が著しくならないようにした。

また、このほか、次のような問題もある。観測者（運転者）に対しては、50m前方の先行車両の運転者の位置に、ウィンドシールド上の原点の高さが一致するように、シートの高さを調整させた。また、水平方向についても同様に、先行車両の運転者の位置に原点の位置が一致するように、観測者の左右方向の乗車姿勢を調整させた。（正確には、先行車両に観測者が眼の焦点を合わせた場合、観測者の左眼と右眼による模擬HUDの2つの像が、右側と左側にそれぞれ見えることとなる。従って、その2つの像の間に先行車両が見えるように観測者の左右の乗車姿勢を調整させた。）しかし、前後方向に関しては、乗車姿勢を観測者の自由に任せているので、観測者の眼の位置は基準アイポイントとは必ずしも一致しない。従って、HUDの表示位置に関して、全観測者が必ずしも設定したような視角の表示位置に、HUDの表示像を見るわけではない。

以上のような制約があるので、この実験から得られる結果については、煩わしさ感の分布を求めるために使用するのではなく、主に、停車時と運転時との煩わしさ感の比較を行うために使用することとする。

7. 6. 2 車両に乗車して行った実験結果及び考察

車両停車時と運転時との評価結果について、「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」及び「極めて煩わしい」の3つの回答数の合計をとり、図示すると図7-33のようになる。停車時、運転時とも、垂直方向については、y=0の水平線に対してほぼ対称であり、水平方向については、x=0の垂直線に対して、左側に煩わしさ感が分布している。停車時と運転時とを比較すると両者の評価結果は似ているが、詳細に検討すると、運転時の場合に左側及び下側の回答数が多い傾向が認められる。運転時の回答数から停車時の回答数を引いた差を各表示位置ごとに示すと表7-6となる。最も左側の表示位置（x=-15度、y=0度）において特に差が大きいことがわかる。

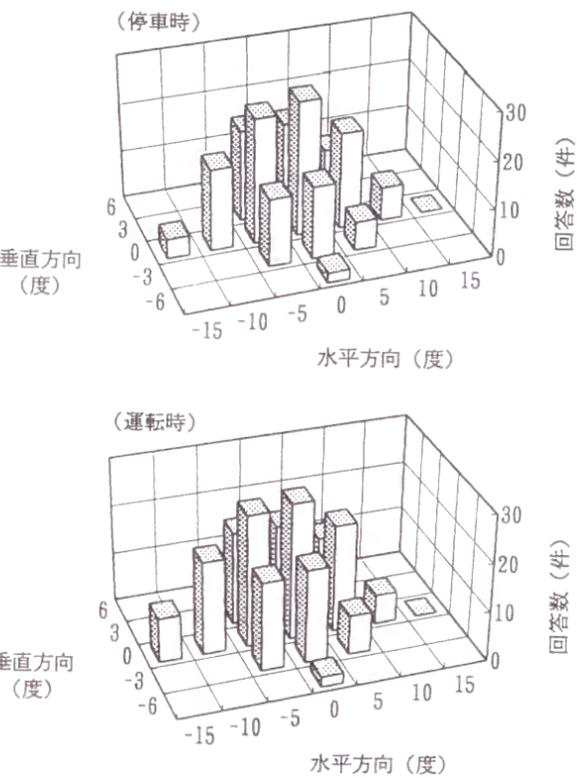


図7-33 車両停車時と運転時の煩わしさ感
 (「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」、
 「極めて煩わしい」の回答数の合計)

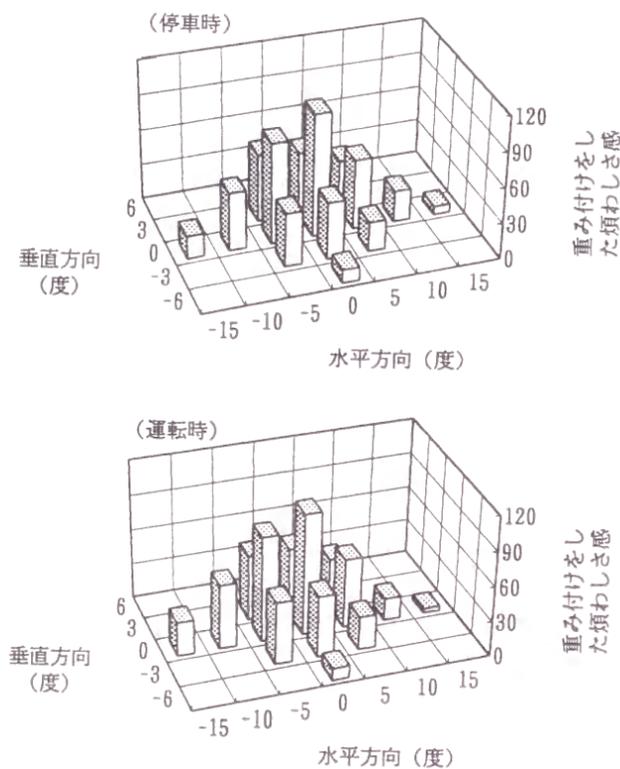


図7-34 車両停車時と運転時の
 重み付けをした煩わしさ感

表7-6 停車時と運転時との回答数の差(運転時の回答数から停車時の回答数を引いた値)

表示位置	(左方向)				(右方向)		
	15度	10度	5度	0度	5度	10度	15度
(上方向) 6度				0			
3度			0	0	3		
0度	5	2	1	0	2	1	0
-3度			4	4	2		
(下方向)-6度				0			

以下、7.5節と同様に式(7-4)による統計的検定を行い、停車時と運転時との差について検討する。最も左側の表示位置(x=15度, y=0度)においては、車両停車時の回答数は4件、運転時の回答数は9件であり、式(7-4)のzの値は1.62となる。正規分布曲線からz=1.62を越える確率を求めると0.053となる。従って、棄却域が正負の両側に存在することを考慮すると、z=1.62に相当する有意水準は11%となる。すなわち、「車両停車時と運転時とで回答数が等しい」という帰無仮説は、有意水準11%で棄却されることがわかる。この11%の値は、通常使用される5%等の有意水準よりも高い値である。従って、表示位置(x=15度, y=0度)における車両停車時と運転時との回答数の差は認められるにしても、その差は大きなものではないと考えられる。一方、原点より下側の表示位置に関しては、統計的にみると回答数の差はさらに小さく、車両停車時と運転時とで回答数の有意な差はほとんどなかったものと考えられる。

このように、車両停車時よりも運転時の方が、左側の表示位置において少し煩わしさ感の回答数が多くなり、一方、垂直方向については、停車時と運転時とで、ほとんど差は認められないといえる。

重み付けをした煩わしさ感の結果についても(図7-34)、上述と同様の傾向が認められる。

運転時における運転者の視線分布を検討した過去の研究では、運転者の視線は道路端側(歩道側)の方に分布することが明らかにされている^{17,18)}。すなわち、日本のように道路の左側を車両(右ハンドル車)が走行する場合には、左側の方に視線が分

布する¹⁷⁾。一方、米国のように道路の右側を車両（左ハンドル車）が走行する場合には、右側の方に視線が分布する¹⁸⁾。従って、今回、停車時に比べ運転時に、左側の表示位置に関して煩わしさを感じやすくなったということは、運転時に経験的に左側の方に運転者の視線（注意）が移動して、その方向にあるHUDを煩わしく感じたためと考えられる。

一方、垂直方向の視線分布に関して、垂直方向の視線分布の中心は、高速道路ではほぼ原点あたりであり、混雑度の高い道路においては原点より下方の約1～1.5度に移動するという研究成果が明らかにされている⁵⁾。今回の実験においては、テストコース上で、50m前方の先行車両の後を走行するという余裕のある交通状況であったので、混雑の程度は低く、高速道路の状況に近いものと考えられる。従って、運転時においても、停車時と比較して、下方への視線移動量は小さかったものと考えられる。混雑の程度の高い道路を走行する場合には、視線分布が下方方向に移動し、それに伴い、下側の表示位置に関して煩わしさを感じやすくなるものと推測される。ただし、この点については実験的に検証しているわけではない。

7.7 HUDの2重像の影響

航空機用のHUDと異なり、自動車用HUDに関しては、運転者からHUDの虚像までの距離は一般に無限遠とはなっておらず、数mの距離となっているものが多い。自動車用HUDに関して虚像までの距離が短い主な理由は、HUDの装置を狭い車両内に設置しなければならないという制約があるためである。このように、HUDの虚像までの距離が前方の風景までの距離と異なる場合には、運転者が前方の風景を見ているとき、左右の両眼によるHUDの2重像が見えることとなる。2重像を見ている場合、観測者はどのように煩わしさを感じているのかを調べるのが、本節の目的である。

7.7.1 実験方法

(1) 実験装置

照明を消した暗室内で室内実験を行った。実験条件については、HUDの装置を除けば7.5節で述べたものと基本的に同じである。

HUDの装置の構造は、蛍光表示管を使用するものではなく、HUDの装置内に組み込まれた表示像作成用の液晶画面の背後から光をあてて透過光とし、これを観測者の前面に置いた表示用板ガラスに反射させるというものである。表示像をあらかじめ作成してパソコンに保存し、試行のたびにHUDの装置内の液晶画面に像を送出した。

観測者からHUDの虚像までの距離は約1.5mとした。また、観測方向から測定した輝度は約90 cd/m²、色は緑色（色度座標はx=0.273, y=0.608）である。これらの値は、暗室内で測定した値であって、前方の風景の明るさの影響をうけていない。

HUDの像の形は長方形として、その大きさは、縦方向の視角を0.5度の1種類とし、横方向の視角については0.5度、1.0度及び1.5度の3種類とした。以下、HUDの像の大きさを表すのに、横方向の視角で表し、大きさ0.5度等のように表現する。

(2) 表示位置

表示位置は、観測者の正面前方を原点として、図7-35に示すように、水平方向について左方向の6度から右方向の6度まで2度毎に7種類とする。また、垂直方向については、原点の上方向の3度の位置及び下方向の3度の位置に設定する。今回は

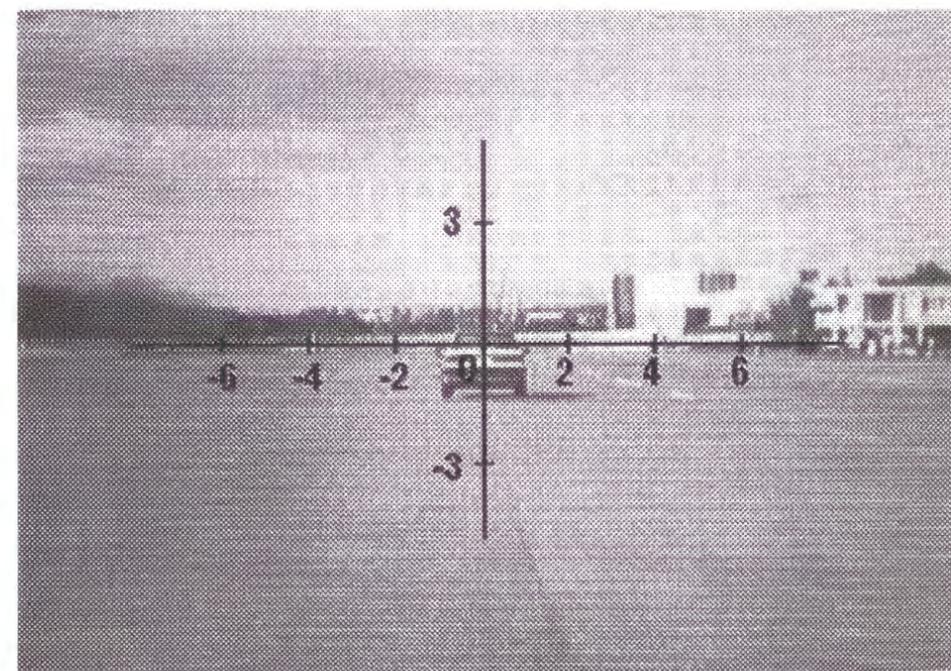


図7-35 2重像に関する実験のHUD表示位置

水平方向の両眼視の影響を調べるのが主たる目的であるので、水平方向の表示位置を多く設定している。

上述の表示位置の視角は、観測者の両眼を結ぶ線分の中点を基準としている。以下、便宜的に、観測者の両眼を結ぶ線分の中点の位置に仮想的に単眼がある場合を考え、これを「基準眼」とよぶこととする。また、表示位置に関連して、水平方向のプラスの領域を「右側視野」、マイナスの領域を「左側視野」とよぶこととする。

(3) 実験手順

実験手順については、各表示位置においてHUDの像を10秒間観測者に対して呈示し、これまでと同様に、煩わしさ感の主観的評価を表7-3に示す0から4までの整数値により回答させた。

9種類の表示位置及び3種類の表示大きさの実験条件を、無作為に選定した。その際、両眼で観測する実験、右眼で観測する実験、左眼で観測する実験の3種類の実験を行った。このように表示位置、表示大きさ、観測者の観測眼の実験条件を一通り行った後、休憩をはさんで、さらにもう一度繰り返して実験を行った。この2回目の実験に当たっては、前方の風景を左右反転させた。実験を開始する前に、予備実験を行い、観測者に一通りの表示位置及び大きさを呈示して実験に慣れさせた。なお、片側の眼で観測させる場合は、反対側の眼の前に黒い板を置いて視界を遮った。

実験回数は、観測者一人あたり、162回（表示位置9種類、大きさ3種類、両眼、右眼、左眼の区別3種類、繰り返し回数2回）である。

観測者は色覚正常な20代の21名（男性10名、女性11名）であり、平均年齢は24.7歳である。

7.7.2 両眼視による2重像の説明

今回の実験では、観測者からHUDの虚像までの距離は1.5mである。従って、観測者が5.6m離れたスクリーンに眼の焦点をあわせた場合には、左右の眼によるHUDの2重像が見えることとなる。観測者の正面前方の位置にHUDを表示した場合、基準眼で観測すると図7-36のようになる。図中では、3種類の大きさのHUDについてそれぞれ示している。これらの図については、HUDの表示位置を明確に示すため、スクリーン上の風景を写真撮影した後にパソコンに取り込み、HUDの像

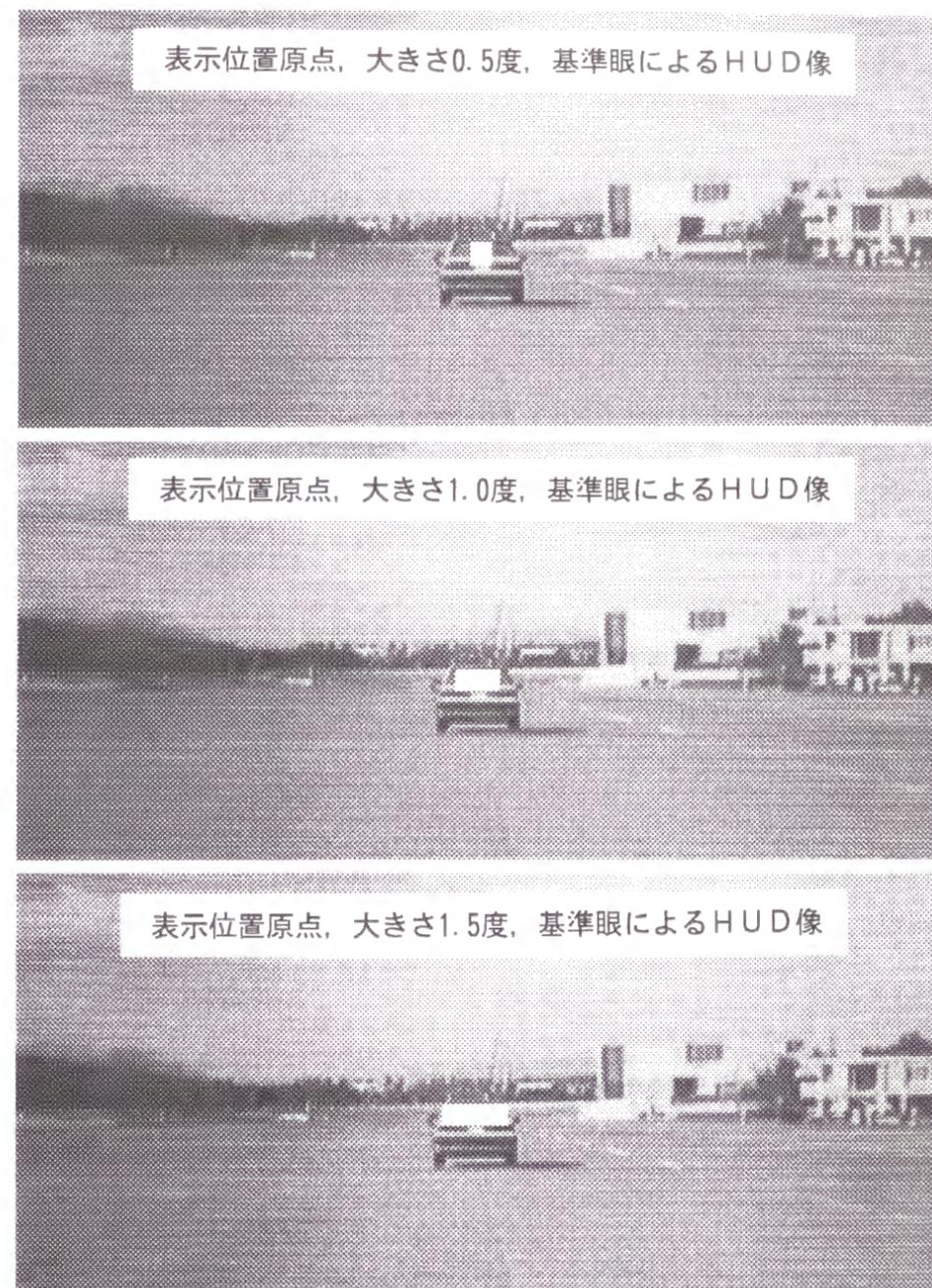


図7-36 基準眼で見たときの原点におけるHUD像

を別に作成してパソコンにより合成している。HUDの明るさについては、実際のHUDは図中に見られるよりも暗い表示として観測される。

このようにHUDを設定した場合、右眼では左側に、左眼では右側にHUDの虚像が見えることとなる。左右の眼の間の距離は一般的に65mmであるので¹⁹⁾、HUDの虚像までの距離との関係からこの2重像の位置を計算することができる(図7-37)。この際、5.6m先のスクリーンに眼の焦点をあわせているので、その時の輻射角を考慮して2重像の位置を計算する必要がある。

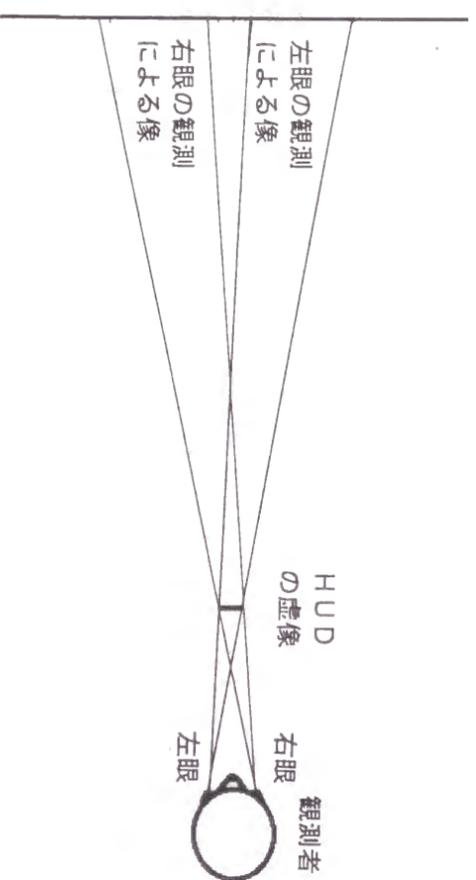


図7-37 両眼視の模式図

正面前方の位置のHUDが、実際には観測者に対してどのように見えるのかを図7-38に示す。図中の2重像の位置は上記の計算を基にして求めている。観測者に対しては、予備実験の際に両眼で見た場合には2重像が観察され、単眼で見た場合には1つの像が観察されることを確認している。

さらに、図7-39に-2度の表示位置に関し、実際に観測者に見えるHUDの2重像を示す。-2度の位置については、基準眼で考えるときは前方の車両にHUDの像がかからないものの、2重像では車両にHUDの像の一部がかかっている。同様に、-4度の表示位置の場合の2重像を図7-40に示し、また、-6度の表示位置の場合の2重像を図7-41に示す。いずれの図も、3種類の大きさについてそれぞれ示

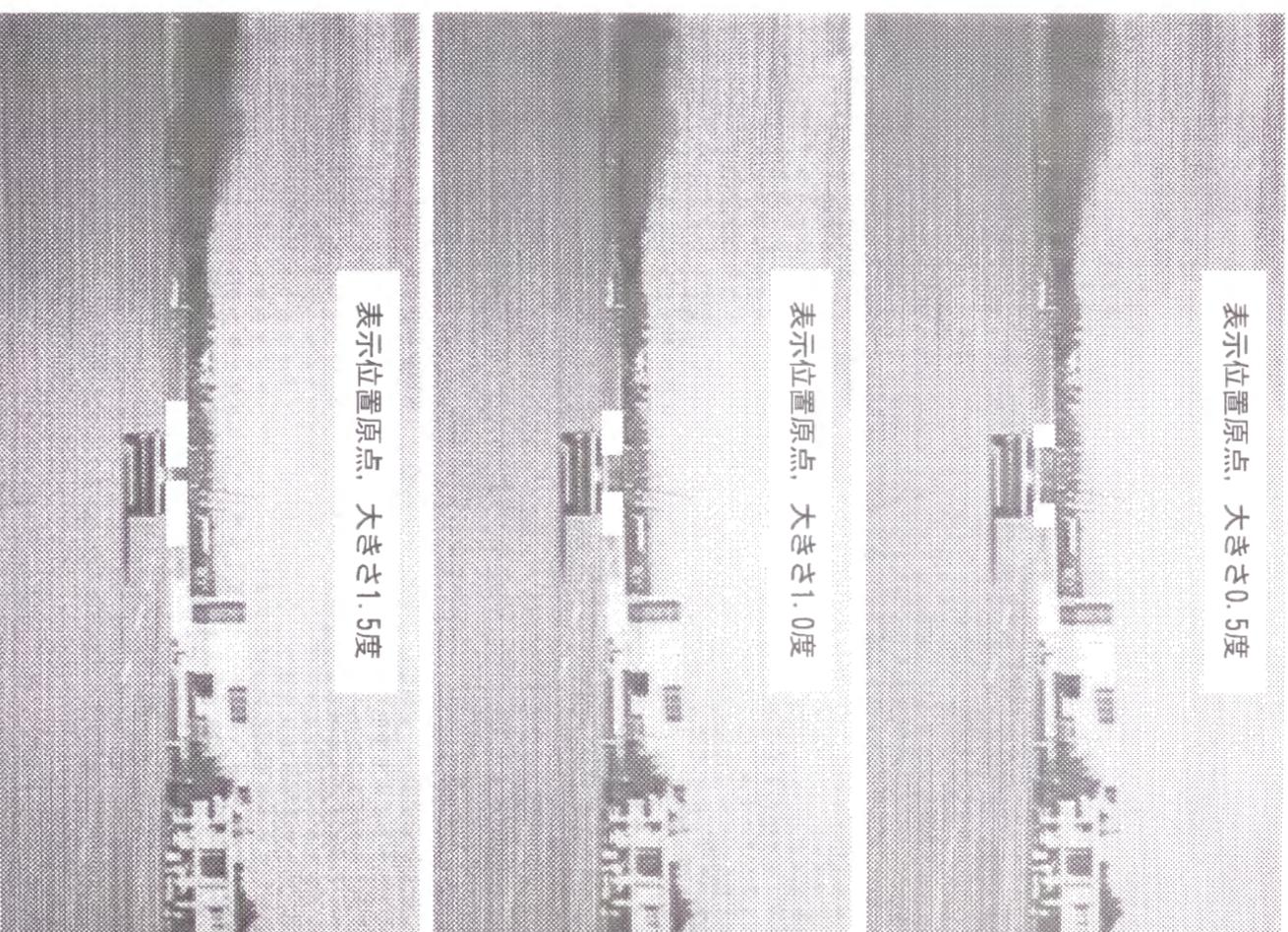


図7-38 原点におけるHUDの2重像

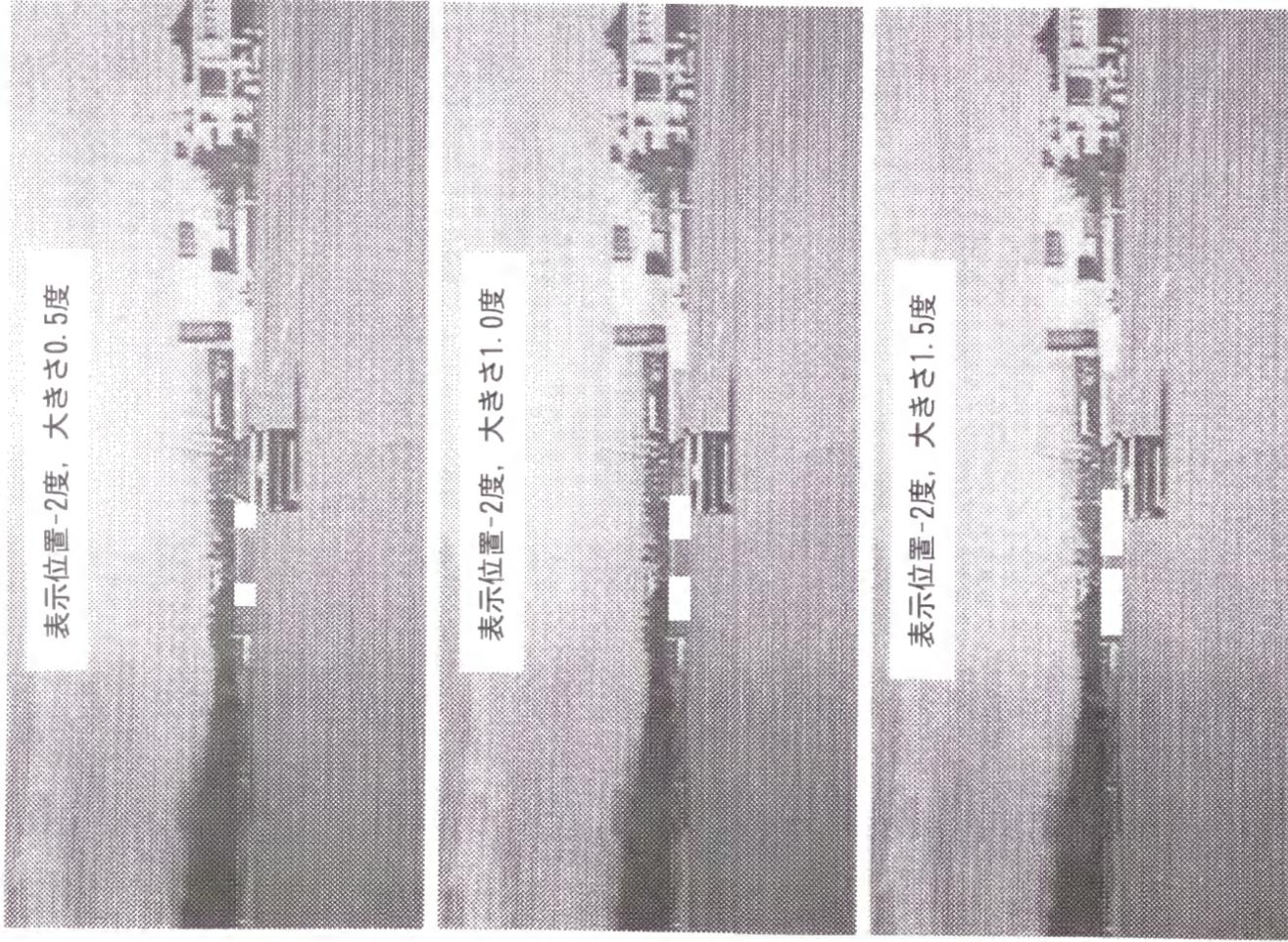


図7-39 2度の表示位置のHUDの2重像

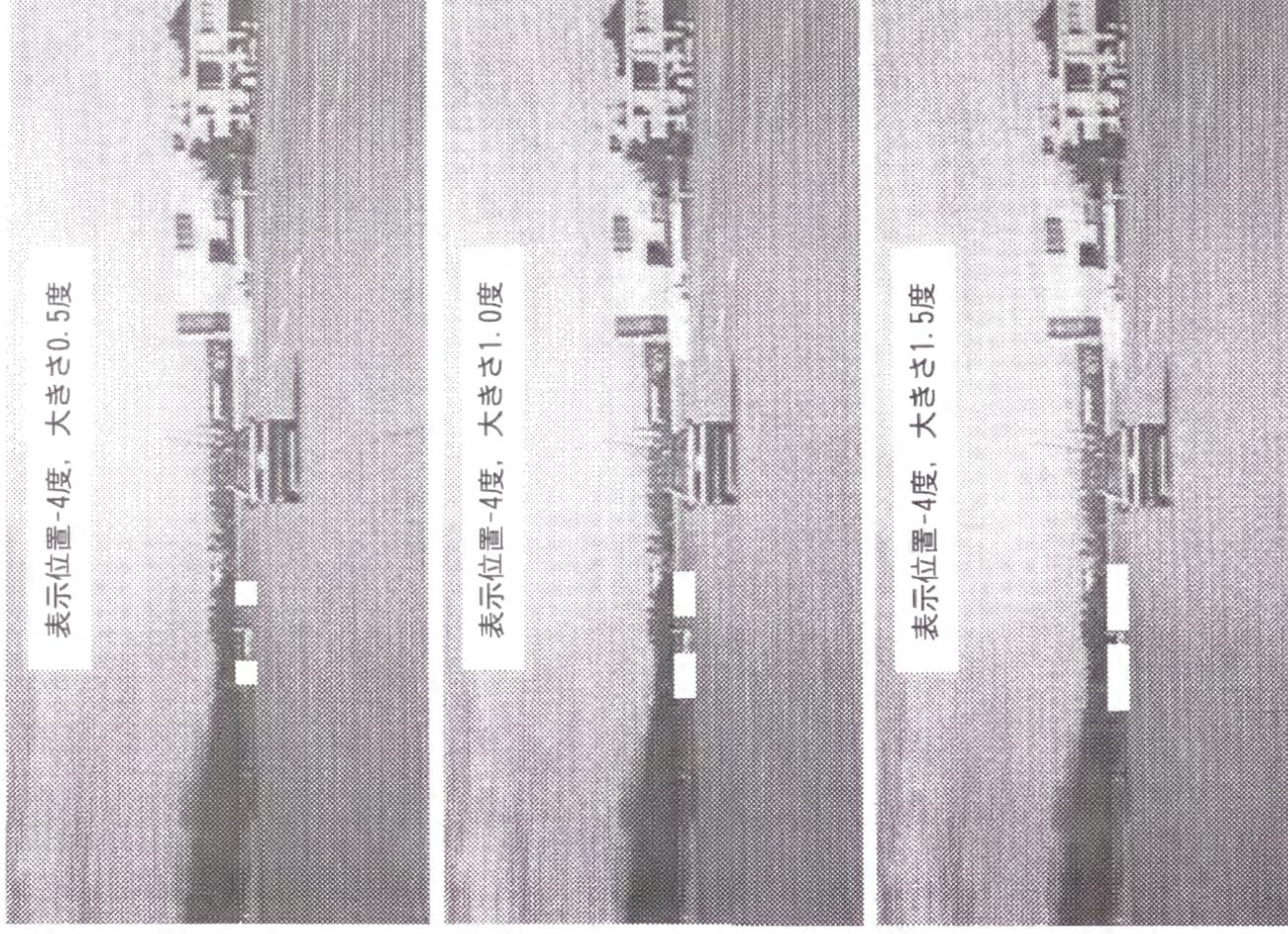


図7-40 4度の表示位置のHUDの2重像

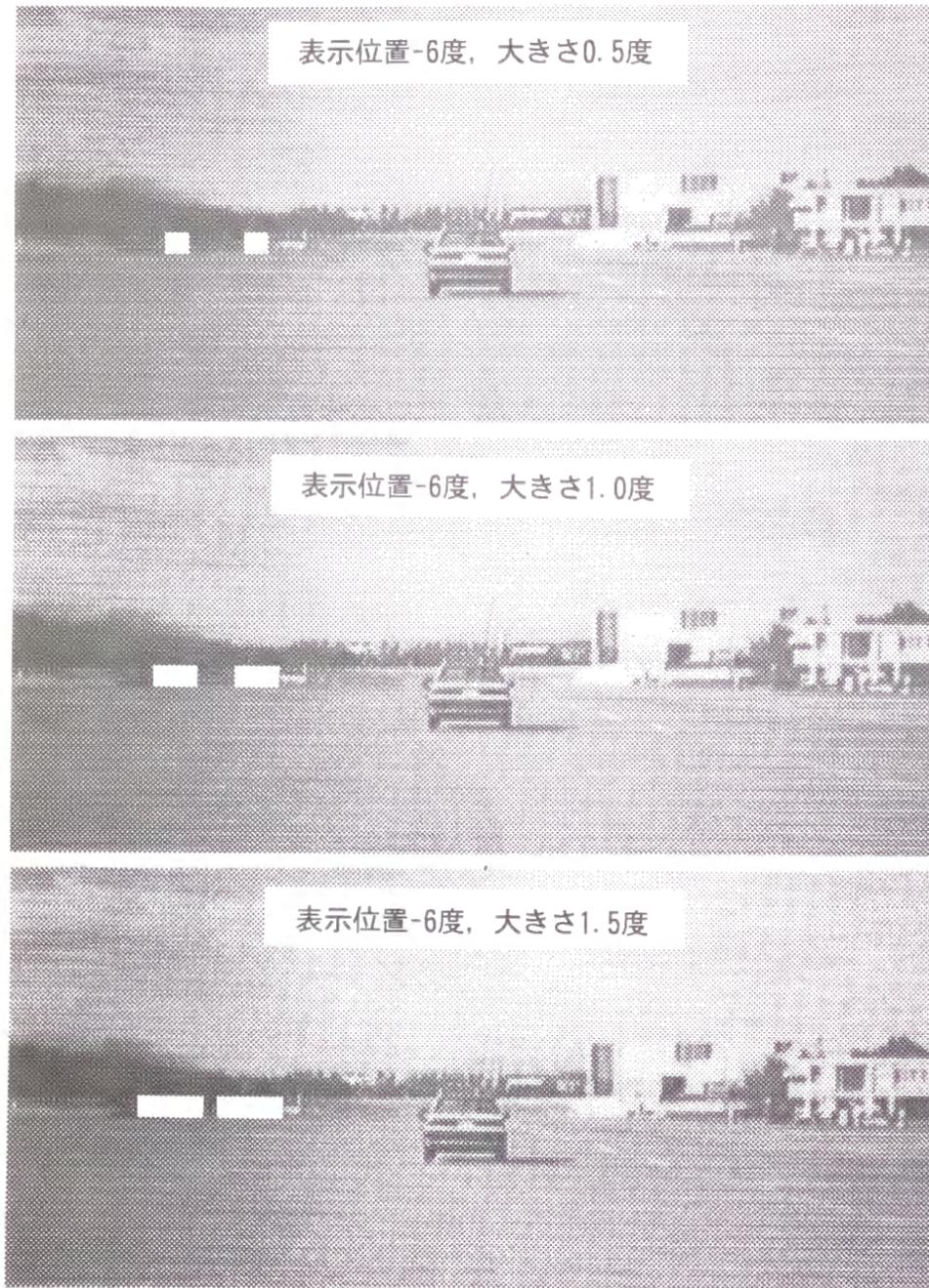


図7-41 -6度の表示位置のHUDの2重像

している。

図7-39から図7-41では、左側視野の表示位置について示しているが、右側視野の表示位置についても同様に考えることができる。

7.7.3 全体の評価結果

「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」及び「極めて煩わしい」の回答数の合計を、各HUDの大きさ毎に示すと図7-42となる。いずれの場合においても、原点における回答数が最も多く、左右または上下に離れるに従い回答数が低減する。また、左右方向及び上下方向について、それぞれほぼ対称であることがわかる。このように、著者らがこれまでに求めた煩わしさ感の分布に関する定性的な傾向が再現されている。

一方、重み付けをした煩わしさ感については図7-43となる。図7-42と同様の定性的な傾向が認められる。

なお、7.3節において、著者らは煩わしさ感の分布が2次元の正規分布で表せることを示した。今回の結果についても、正規分布となっているかどうかを検討する。ただし、垂直方向については表示位置の数が少ないため、ここでは水平方向についてのみ検討する。図7-42に示す3種類の大きさのHUDについて、水平方向の分布が正規分布をしているかどうかを χ^2 分布検定により、それぞれ調べる。その結果、図7-42に示す3種類の大きさとも、正規分布であることが認められる（有意水準5%）。また、図7-43に示す重み付けをした煩わしさ感についても、同様に正規分布であることが認められる（大きさ0.5度の場合には、有意水準1%、他の場合には有意水準5%）。従って、これまでの知見通り、煩わしさ感の分布は正規分布として考えることが可能である。

7.7.4 両眼視の影響の解析

「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」及び「極めて煩わしい」の3種類の回答数の合計を水平方向の表示位置について図7-44に示す。なお、今回の実験は両眼視について調べることが目的であるので、以下の解析に当たっては、水平方向に関して解析を行うこととする。それぞれ大きさ0.5度、1.0度及び1.5度について示す。各図には、両眼で見た場合（図中の白色のグラフ）のほか、右眼（図中の黒色のグラフ）と左眼（図中の灰色斜線のグラフ）で見た結果が示されている。なお、縦

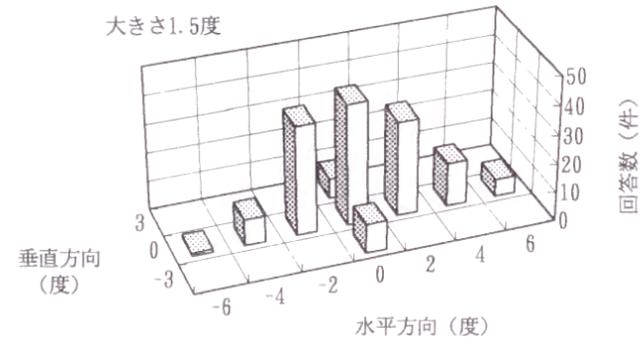
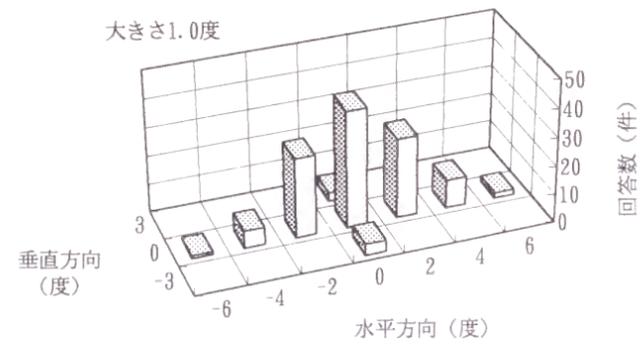
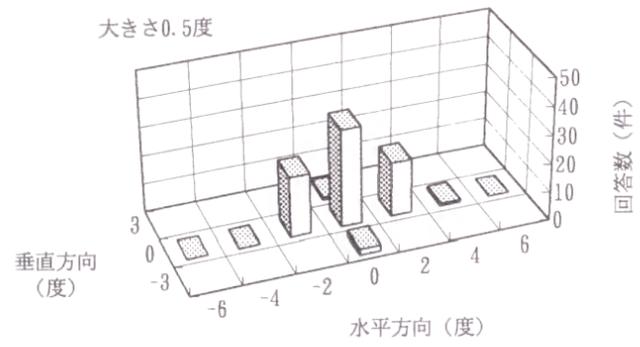


図7-42 煩わしさ感の評価結果
 (「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」、
 「極めて煩わしい」の回答数の合計)

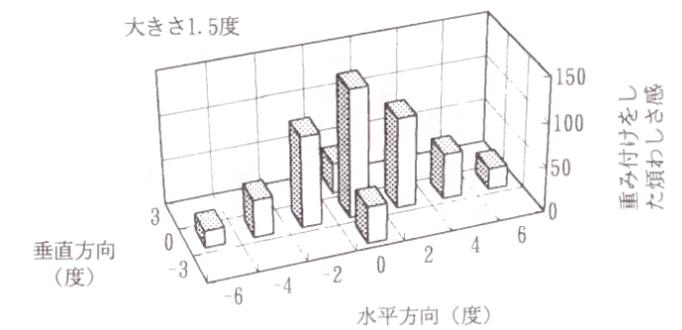
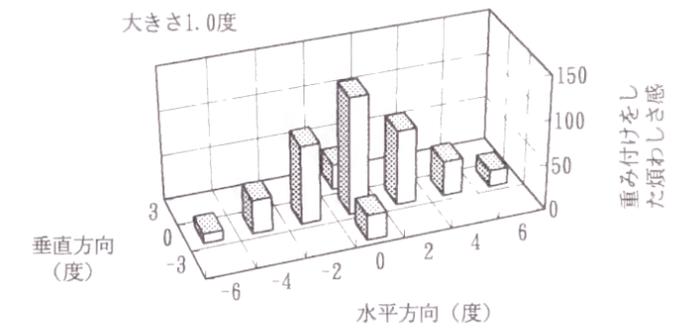
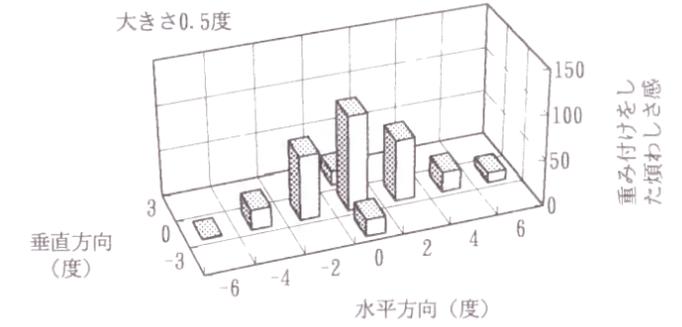


図7-43 重み付けをした煩わしさ感

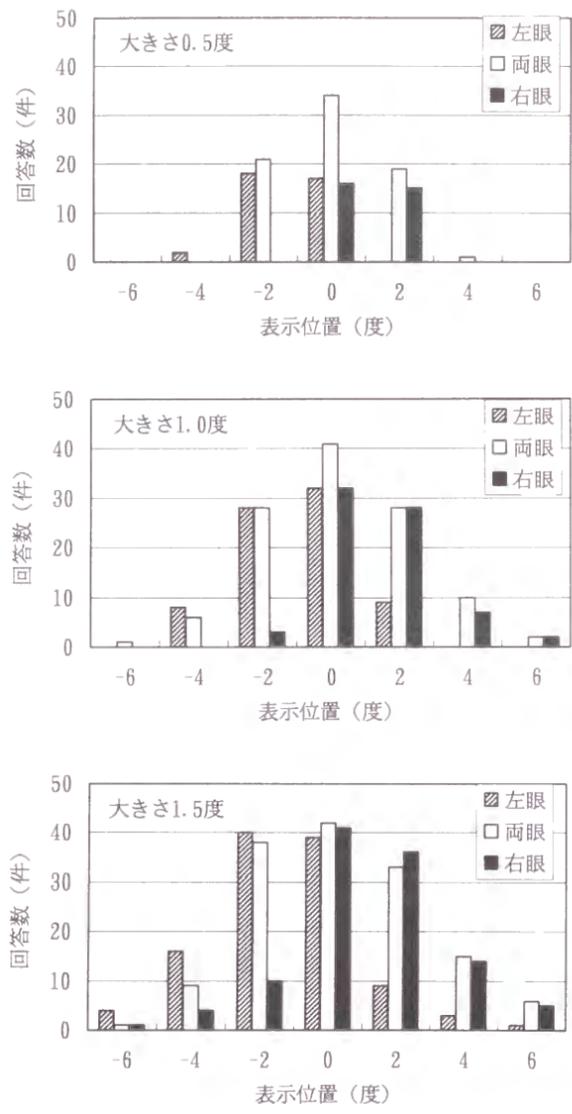


図7-44 観測する眼による評価結果の差
 (「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」、
 「極めて煩わしい」の回答数の合計)

軸の回答数のとりうる最大値は、観測者21名が2回繰り返したことから42件である。

さて、右眼で観測する場合には、HUDの像は基準眼で設定した位置よりも左側の方に見えることとなる。すなわち、右側視野に設定されたHUDの像は正面前方の車両に近づいて見えることとなり、この結果、煩わしさ感が増大すると予測される。逆に、左側視野に設定されたHUDの像は、さらに車両から離れて見えることとなり、煩わしさ感が低減すると予測される。図7-44に明らかに示されているように、右眼で見た場合の評価結果は、右側視野の表示位置について回答数が多く、逆に、左側視野の表示位置については回答数が少ないことがわかる。従って、予測通りの結果が実験により確認される。

左眼で見た場合はこの逆であって、左側視野の表示位置について回答数が多く、右側視野の表示位置について回答数が少ないことが図から明らかである。

また、両眼で見た場合には、右側視野の回答数は右眼で見た場合の回答数とほぼ等しく、逆に左側視野の回答数は左眼で見た場合の回答数とほぼ等しい。つまり、観測者が両眼によりHUDの2重像を見る場合、正面前方に近い方の像について煩わしさを感じていることが推測できる。

なお、原点位置の表示については、2つの像が対称に見えることから、それぞれの片眼ずつで見た場合よりも煩わしさ感は高くなっている。

これまで述べてきた結果については、重み付けをした煩わしさ感に関しても明らかに認められる(図7-45)。

7.7.5 HUDの虚像までの距離と両眼視との関係

今回の実験結果は、観測者からHUDの虚像までの距離が1.5mの場合の結果である。HUDの2重像の位置については、図7-37から容易に推測されるように、HUDの虚像までの距離にも関係する。たとえば、観測者の正面前方で0.8m離れた距離に虚像が示される場合、基準眼で見た場合と比較して、右眼で見ると左方向に2.3度、逆に、左眼で見ると右方向に2.3度の位置にずれて見えることとなる。(この場合、無限遠離れたところを観測者が見ているとする。)

本節で述べているようなHUDの表示位置の範囲であれば、この角度変化は図7-

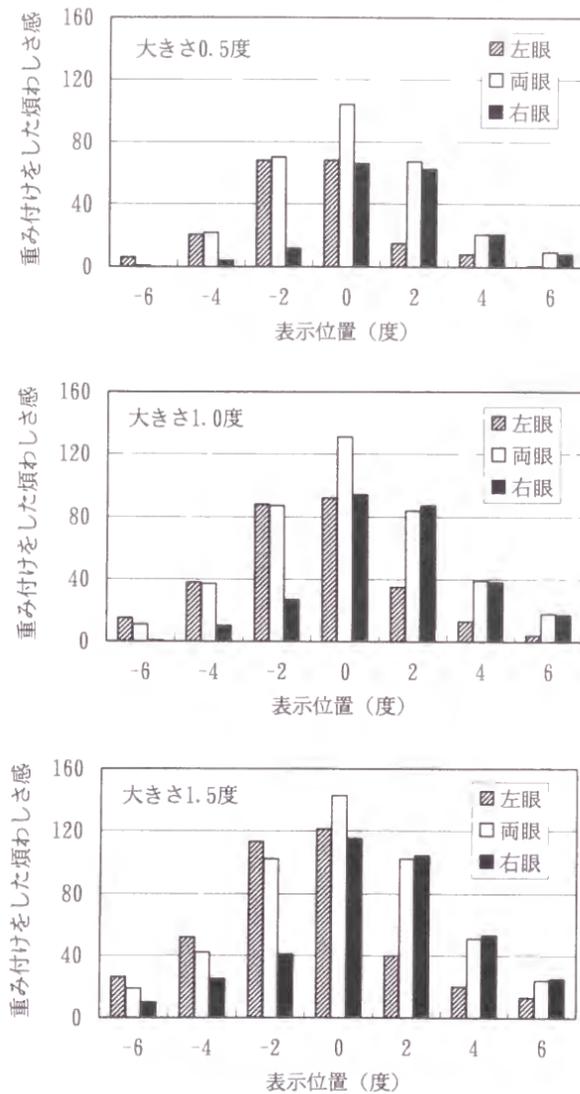


図7-45 重み付けをした煩わしさ感についての観測する眼による差

46に示すようになる。HUDの虚像までの距離が短い場合には、角度変化が急激に大きくなっている。すなわち、虚像までの距離が短い場合には、両眼で見たとき、基準眼により設定した表示位置よりも水平方向に大きくずれた位置にHUDの虚像が見えることとなる。従って、原点位置から離れた位置にHUDを設定したとしても、より原点の方に近づいて2重像のうちの片方の像が見えることとなり、煩わしく感じる事となる。この点を考えれば、HUDの虚像までの距離は長い方がよいと考えられる。

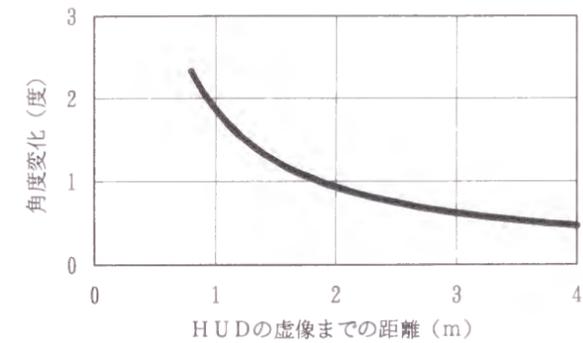


図7-46 HUDの虚像までの距離と角度変化との関係

7.7.6 利き眼の影響

一般的に、人は両眼のうち、どちらかの眼を主に用いて対象物を捉えているといわれている。すなわち利き眼があるといわれている。

今回の実験のように観測者が両眼で観測した場合、右眼が利き眼である者は、右眼で主に見ることから、左側視野よりも右側視野に表示されたHUDについて、より煩わしく感じている可能性がある。逆に、左眼が利き眼である者は、右側視野よりも左側視野に表示されたHUDについて、より煩わしく感じている可能性がある。以下、この点について検討を行う。

今回の観測者21名のうち、利き眼が右眼であるものは10名、左眼であるものは11名であった。利き眼の判定方法は以下の方法に基づく²⁰⁾。一方の穴が直径約3cm、もう一方の穴が直径約10cm、長さ35cmのメガフォン状の紙筒を準備する。観測者は両手を伸ばしてこの紙筒を持ち、大きい方の穴から実験実施者の顔を覗く。約2m

離れた位置にいる実験実施者には、小さい方の穴から観測者の利き眼だけが見えるという方法である。観測者21名に対してこの方法により利き眼を判定したが、いずれの観測者も迷うことなくどちらかの眼で実験実施者を見た。

「かなり煩わしい」、非常に煩わしい 及び「極めて煩わしい」の回答数の合計について、利き眼による評価結果を示すと図7-47となる。この図は、両眼による評価結果である。ここで、利き眼が右眼である者（図中の白色のグラフ）と左眼である者（図中の灰色斜線のグラフ）との人数が異なるため、回答数の比率（パーセント）で縦軸を表すようにしている。つまり、各表示位置に関して、右眼が利き眼の者10名については、2回繰り返したことから最大20件の回答数をとりうることになり、その20件に対する比率を表示している。左眼が利き眼の者11名の場合については、同様に最大22件に対する比率を表示している。また、それぞれ3種類の大きさのHUDについて結果を示している。

図に示される中で、たとえば、大きさ1.0度の場合、右眼が利き眼である者について、左側視野の-2度の際の回答数よりも右側視野の2度の際の回答数が多くなっている。逆に左眼が利き眼である者については、2度の際の回答数よりも-2度の際の回答数が多くなっている。このように観測者が両眼で観測する場合であっても、右眼が利き眼である者は主に右眼で見ており、従って、右側視野に表示されたHUDを煩わしく感じて、煩わしさ感の分布が右側に偏っている可能性が考えられる。逆に、左眼が利き眼である者は主に左眼で見ており、従って、左側視野に表示されたHUDを煩わしく感じて、煩わしさ感の分布が左側に偏っている可能性が考えられる。

しかし、必ずしもそのような特徴が表れていない場合も図中に認められる。そこで、右眼が利き眼である場合の煩わしさ感の分布と左眼が利き眼である場合の煩わしさ感の分布について、それぞれ水平方向における平均を求め、両者の平均に差があるかどうかをt検定により調べる。その結果、いずれのHUDの大きさの場合も、平均の差は認められない（有意水準5%）。従って、利き眼が右眼であるか左眼であるかによる差は特にないと考えられる。

両眼で観測したときの重み付けをした煩わしさ感について、3種類の大きさのHUD毎に示す（図7-48）。同様に縦軸は比率（パーセント）で表している。比率を

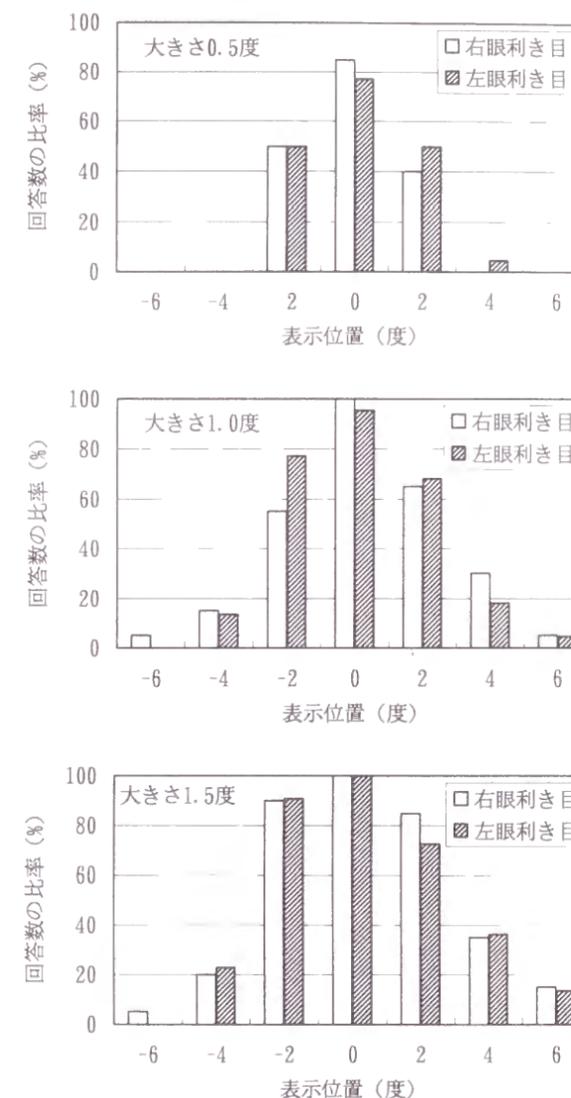


図7-47 利き眼による評価結果の差（「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」、「極めて煩わしい」の回答数の合計）

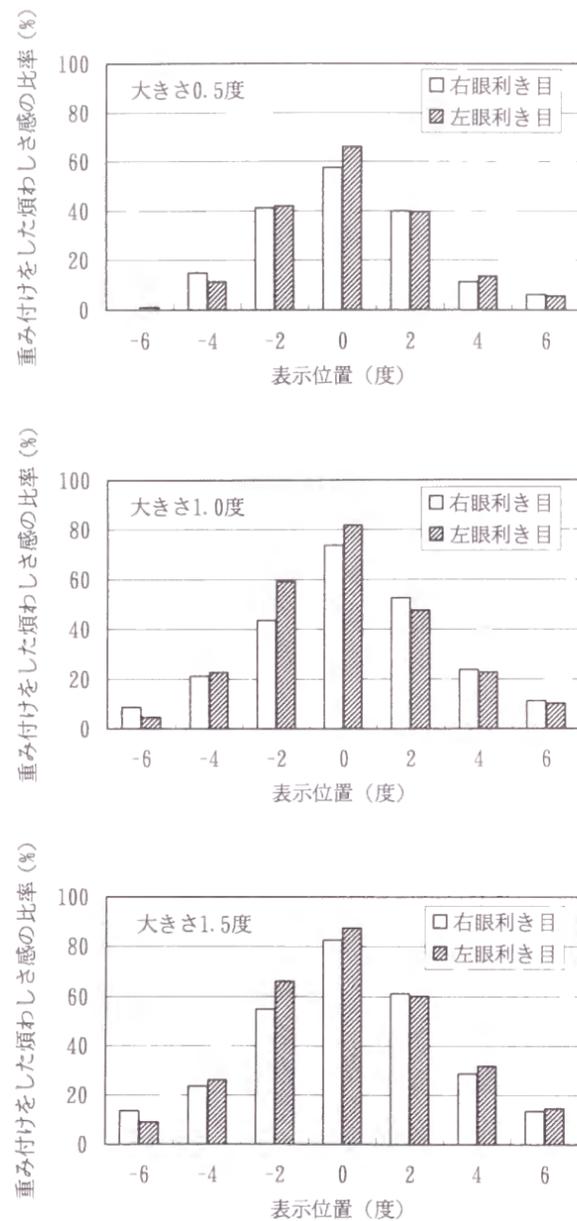


図7-48 重み付けをした煩わしさ感についての利き眼による差

求める際の分母となる最大値は、右眼が利き眼である者については、回答数20件すべてが評価値4（極めて煩わしい）である場合の80となる（ここで、既に述べたように評価値をプラスの値として考えている）。同様に、左眼が利き眼である者については、とりうる最大値は88となる。図7-48に示される結果についてt検定を行った結果、いずれのHUDの大きさの場合も、利き眼の差による煩わしさ感の分布の平均の差は認められない（有意水準5%）。

7.7.7 観測者の視力による影響

観測者の左右の眼の視力は等しいとは限らない。左眼に比して右眼の視力が良い者は、右眼の方がよく見えるために、左側視野よりも右側視野に表示されたHUDについて、より煩わしく感じている可能性がある。逆に、左眼の方が視力の良い者は、右側視野よりも左側視野に表示されたHUDについて、より煩わしく感じている可能性がある。従って、本項では視力による影響の有無を検討する。

視力については、検眼装置（株）トプコン製SS-3を用いて、5m離れた距離に相当する位置のランドルト環の欠けている方向を回答させる方法により、両眼及び左右のそれぞれの眼について調べた。なお、眼鏡等を使用する者については、矯正視力を測定している。

観測者21名のうち、右眼の視力が左眼よりも0.2以上良い者は6名、逆に、左眼の視力が右眼よりも0.2以上良い者は5名であった。これらの観測者について、「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」及び「極めて煩わしい」の回答数の計を調べると図7-49となる。この図は、両眼による測定結果であり、また、観測者の数が少ないことから、3種類の大きさの評価結果の集計をとっている。ここで、右眼の方が良い者（図中の白色のグラフ）と左眼の方が良い者（図中の灰色斜線のグラフ）との人数が異なるため、縦軸に関しては比率（パーセント）で表すようにしている。つまり、各表示位置に関し、右眼が良い者6名が3種類のHUDの大きさと2回繰り返したことから、最大36件の回答数をとり得ることになり、その36件に対する比率を表示している。左眼が良い者5名の場合については、同様に最大30件に対する比率を表している。

全体的に、左眼が良い者の回答数の比率が、右眼が良い者の比率よりも高い傾向を

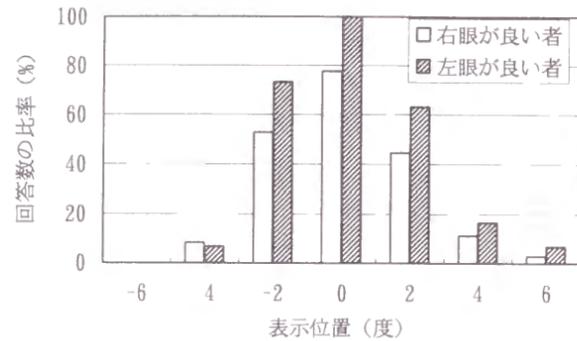


図7-49 視力による評価結果の差
 (「かなり煩わしい」, 「非常に煩わしい」,
 「極めて煩わしい」の回答数の合計)

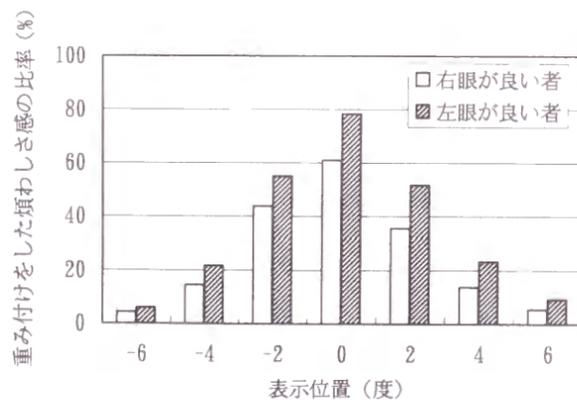


図7-50 重み付けをした煩わしさ感に
 ついての視力による差

示すが、これは、観測者の数が少ないことから、各観測者の主観的評価基準のばらつきが表れたものと考えられる。

前述のように、右眼が良い者の煩わしさ感の分布と、左眼が良い者の煩わしさ感の分布について、それぞれ水平方向における平均を求め、両者の平均に差があるかどうかをt検定により調べる。その結果、両者の間に平均の差は認められない(有意水準5%)。従って、右眼の視力が良いために右側視野のHUDを煩わしく感じるということ、逆に、左眼の視力が良いために左側視野のHUDを煩わしく感じるということはないと考えられる。

上述の観測者について、両眼で観測したときの重み付けをした煩わしさ感を図7-50に示す。同様に3種類の大きさの評価結果を集計している。図7-50に示される結果についても、t検定を行った結果、右眼と左眼の視力の差による煩わしさ感の分布の平均の差は認められない(有意水準5%)。

7.8 HUDの煩わしさ感に関するまとめ

7.8.1 明るさ感のまとめ

HUDの明るさ感に関して、加齢の影響を調べる実験により、若年齢者よりも高齢者の方が適切な明るさと判断するHUDの表示輝度の範囲が狭いことが認められた。高齢者は若年齢者よりも明るい表示を望むものの、明るすぎることについては若年齢者よりも敏感である。

7.8.2 HUDの煩わしさ感に関する基礎的実験のまとめ

屋外における静止状態の基礎的な評価実験を行うことにより、以下の(1)から(3)までの知見を得た。

(1) 煩わしさ感の分布は、正面前方の表示位置において最も高く、上下または左右に表示位置が離れるに従い低減する。この分布は、2次元正規分布で近似することができる。

(2) 煩わしさ感を2次元正規分布で表したとき、水平方向と垂直方向の相関係数がほとんど0であることから、水平方向と垂直方向の評価結果は独立であるといえる。すなわち、水平方向と垂直方向とを別々に求めることにより2次元正規

分布を推定することができる。

- (3) 煩わしさ感の観点から考えると、正面前方を原点としたとき、上下方向にそれぞれ数度（約3または4度）の範囲にHUDを表示することは、適当ではないと考えられる。ただし、この範囲は水平方向位置によっても異なる。

7. 8. 3 運転者の眼の位置の影響のまとめ

運転者の眼の位置よりも下方向にHUDを表示する場合、基準アインポイントを基にHUDの表示位置を決定したとしても、眼の位置の低い運転者に対しては、正面前方の近くにHUDの虚像が見えることとなり、煩わしさ感が増して感じられることとなる。この煩わしさ感の変化は、基準アインポイントからの視角だけでなく、HUDの虚像にいたる距離も関係する。この点について検討した結果、少なくとも約1.5m以上離れた位置にHUDの虚像を呈示することが望ましいことがわかった。

7. 8. 4 HUDの表示輝度及び観測者の年齢の影響のまとめ

HUDの煩わしさ感に関して、HUDの表示輝度及び観測者の年齢の影響がどのように表れるのかを調べた結果、以下の(1)及び(2)の知見を得た。

- (1) 今回の表示輝度の範囲（ 2.1 cd/m^2 から 3.1 cd/m^2 までの範囲で約2倍ずつの5段階に表示輝度を設定）では、HUDの表示輝度が高くなるにつれて、煩わしさ感が少しずつ増大する。
- (2) 若齢者より高齢者のほうが、一般的に、正面前方の原点付近に関して煩わしさを感じやすくなる。一方、正面前方から離れた周辺付近では、高齢者の方が煩わしく感じなくなる傾向が認められる。

7. 8. 5 走行時の煩わしさ感の変化のまとめ

停車時と運転時とで、煩わしさ感がどのように変化するかを調べた結果、以下の(1)及び(2)の知見を得た。

- (1) 停車時と比較して、運転時には、左側の表示位置に関して煩わしさを感じやすくなる。この理由は、一般的に、運転者の視線分布が運転時に左側に移動するためであると考えられる。左側に視線分布が移動するのは、日本のように車両（右ハンドル車）が左側道路を走行する場合であって、米国のように車両（左ハンドル車）が右側道路を走行する場合には、逆に右側に視線分布が移動する。

従って、この場合には、右側の表示位置に関して煩わしさを感じやすくなるものと推測される。

- (2) 垂直方向に関しては、今回の実験のように、テストコース上での余裕のある交通状況においては、停車時と運転時とでは、煩わしさ感の分布に関して、ほとんど差が認められなかった。過去の研究においては、混雑の程度の高い道路においては、視線分布が下方に移動することが明らかにされている。混雑の程度の高い道路を走行する場合には、下側の表示位置に関して煩わしさを感じやすくなるものと推測される。ただし、この点に関しては実験的に検証しているわけではない。

7. 8. 6 HUDの2重像の影響のまとめ

HUDの煩わしさ感に及ぼす両眼視の影響を調べた結果、以下の(1)から(4)までの知見を得た。

- (1) 両眼で見た場合、HUDの2重像のうち、煩わしさ感に影響を及ぼすのは、正面前方に近い方の表示像である。すなわち、右側視野に表示されたHUDに関しては、右眼の観測により正面前方に近い位置にHUDの像が見えることになり、煩わしさ感はその像によって決定される。逆に、左側視野に表示されたHUDに関しては、左眼の観測により正面前方に近い位置にHUDの像が見えることになり、煩わしさ感はその像によって決定される。
- (2) 2重像の位置に関しては、観測者からHUDの虚像に至る距離に関係している。HUDの虚像の位置が観測者から近い場合には、2重像の位置は設定位置と大きく異なることとなる。つまり、水平方向に正面前方から離れた位置に設定したとしても、正面前方に近づいた位置にHUDの2重像のうちの片方の像が見えることとなる。この結果、煩わしさが増して感じられることとなる。従って、観測者からHUDの虚像に至る距離を長くする方が、HUDの2重像による煩わしさの観点からは好ましい。
- (3) HUDの煩わしさ感に及ぼす観測者の利き眼の影響は認められない。
- (4) HUDの煩わしさ感に及ぼす左右の眼の視力の差の影響は認められない。

第8章 結言

8.1 まとめ

運転者が自動車用ナビゲーションシステム等の表示情報を読みとる場合の問題点に関して安全性の観点から各種の実験を行った。そのうちの主要な結論をまとめると以下の(1)から(10)のようになる。

- (1) ダッシュボードに組み込まれている表示装置を運転者が注視してわき見運転を行っている場合、運転者が周辺視により先行車両のストップランプ点灯に気がつくことはほとんど期待できない。インストルメントパネルの上部付近に搭載した表示装置を注視している場合でも、先行車両のストップランプ点灯に気がつく割合は約半分程度である。ただし、その割合は周囲の明るさ等にも関係している。
- (2) 運転者が「普通に見る」という感覚で表示装置を見る場合、前方から表示装置へ視線を移動させるのに要する時間は0.17秒、表示装置を見ている時間は1.05秒、表示装置から前方に視線を戻すのに要する時間は0.16秒となり、合計1.38秒となる。この程度のわき見であれば、運転者は通常危険を感じることなく行っているものと考えられる。なお、視線移動に要する時間については、室内実験においてもほぼ同様の値(0.15秒)となった。
- (3) 先行車両のストップランプ点灯に気がついてから運転者がブレーキペダルを踏むまでの反応時間については、わき見をせずに正面前方を見ている場合には平均で0.63秒となる。一方、上述で述べたような通常危険を感じることもないようなわき見運転時には、ブレーキペダルを踏むまでの反応時間は平均で1.37秒となることが計算により推測される。
- (4) 地名表示の読みとり時間に関して、60代の観測者の場合には、20代と40代の観測者よりも読みとり時間が長くなる傾向があり、また、ある程度以上の大きさの表示を行う必要がある。一方、20代と40代とでは読みとり時間の差はほとんどない。ただし、マウスのボタン押下のような単純な反応時間に関しては、年齢による差はほとんど認められず約0.26秒となる。

- (5) 室内実験時、ダッシュボード上の搭載を想定して左下の方向に液晶表示装置を設置した場合と比較して、観測者の前方に表示するHUD方式の場合の方が、読みとり時間は約0.4秒短くなる。また、予告音を聞かせることにより観測者の意識が集中して、HUD方式の場合であってもさらに読みとり時間が短くなる。
- (6) 表示される地名になじみがない場合には、読みとり時間が長くなる傾向が認められる。
- (7) 実験条件を整合させれば、室内実験時の読みとり時間と走行実験時の読みとり時間とは、ほぼ同じ結果が得られる。
- (8) 複数の地名の中に目的地が含まれるかどうかを判断する場合には、表示される地名の数に比例して読みとり時間が増加する。
- (9) 目的地の有無を判断する場合には、その地名を発見する確率を考慮する必要がある。目的地がない場合の1地名を判断するのに要する時間を ΔT とすれば、目的地がある場合には、 $\Delta T/2$ にほぼ比例して読みとり時間の期待値が増加する。
- (10) 5.6m前方から表示装置の方に視線を移動させた場合の読みとり時間について検討すると、20代の場合には視線移動とほぼ同時に眼の調節が終了しているのに対し、60代の場合には調節に要する時間が20代よりも長くなる傾向が認められる。60代の場合には、視線移動後の調節に要する時間を考慮する必要がある。

以上の実験においては、1回の注視により表示情報を把握することを考えていたが、この他、運転者が表示装置を繰り返し見ることにより、表示情報を把握する場合を検討すると以下のような考察ができる。たとえば交差点に近づいたときに、200m手前の地点から100m走行する間に表示情報を読みとり、残り100mで必要な運転操作を行うとする。車速60km/hとした場合、100m走行するのに要する時間は6.0秒である。前述のように危険を感じることなく行うことのできる1回の注視時間は約1.4秒である。また、視線を前方に戻して道路交通状況を把握するのに要する時間を2.0秒と仮定する。この場合、表示装置を注視し(1.4秒)、前方の道路交

通状況を把握し（2.0秒）、さらに表示装置を注視する（1.4秒）ことにより、4.8秒要することとなる。従って、上述の仮定の下では100m走行する間に2回繰り返して表示装置を見るのが可能ということとなる。車速40km/hの時には100mを走行するのに9.0秒を要し、この時間内に必要な表示情報を把握すると仮定すれば、表示装置を注視し（1.4秒）、前方の道路交通状況を把握し（2.0秒）、さらに表示装置を注視し（1.4秒）、さらに前方の道路交通状況を把握し（2.0秒）、もう一度表示装置を注視する（1.4秒）ことにより、8.2秒要することとなる。従って、この場合3回繰り返して表示装置を見るのが可能ということとなる。この計算にあたっては、前方道路交通状況を把握するための時間、車速等のパラメータを仮定しているため、得られる結果は必ずしも絶対的なものではないが、一般的に、1回の注視で表示情報を把握できないとしても、運転時に3回程度繰り返して見ることで表示情報を把握することは可能であると考えられる¹⁾。

ところで、HUDの表示位置に関して、HUDを運転者の正面前方に表示することは運転者にとって煩わしく感じられることとなる。このHUDの煩わしさ感に関して各種の実験を行った結果をまとめると、以下の（11）から（17）のようになる。

（11）屋外における基礎的な評価実験を行った結果、煩わしさ感の分布は正面前方の表示位置において最も高く、上下または左右に表示位置が離れるに従い低減する。この分布は2次元正規分布で近似することができる。

（12）正面前方を原点とした場合、上下方向にそれぞれ数度（約3または4度）の範囲にHUDを表示することは煩わしさの観点から避ける方が望ましい。ただし、この範囲は水平方向位置によっても異なる。

（13）運転者の眼の位置よりも下方向にHUDを表示する場合、基準アイポイントを基にHUDの表示位置を決定したとしても、眼の位置の低い運転者に対しては正面前方近くにHUDの虚像が見えることとなり、煩わしさ感が増して感じられることとなる。

（14）HUDの煩わしさの観点から考えると、運転者の眼の位置からHUDの虚像までの距離は長い方が望ましく、約1.5m以上離れた位置に呈示することが望ましい。

（15）若齢者よりも高齢者の方が、正面前方の原点付近に関して煩わしさを感じやすくなる。一方、正面前方から離れた周辺付近では、高齢者の方が煩わしく感じなくなる傾向が認められる。

（16）車両運転時には、運転者の視線移動があるため、日本のように車両（右ハンドル車）が左側道路を走行する場合には左側の表示位置に関して煩わしさを感じやすくなる。

（17）観測者が前方の道路風景を見ている場合、HUDの虚像までの距離が短い場合には、両眼によるHUDの2重像が見えることとなる。煩わしさ感に影響を及ぼすのは、2重像のうち正面前方に近い方の表示像である。すなわち、右側視野に表示されたHUDに関しては、右眼の観測により正面前方に近い位置にHUDの像が見えることとなり、煩わしさ感はその像によって決定される。逆に、左側視野に表示されたHUDに関しては、左眼の観測により正面前方に近い位置にHUDの像が見えることとなり、煩わしさ感はその像によって決定される。

8.2 安全上必要な事項

以上の結論を基にして得られる安全上必要な事項の考え方は、以下の（1）から（5）に示すとおりである。

（1）表示装置の搭載位置に関しては、視界の妨げにならない範囲で運転者の正面前方の方向に近づけて搭載する方が、前方の道路交通状況を認知するためには望ましい。

（2）高齢運転者に対しては、容易に表示情報を得ることができるように、文字大きさを大きくする等の考慮を行う必要がある。

（3）運転時においては、読みとりに時間のかかる複雑な内容を表示することは避けるべきである。運転者が表示画面に対して行う1回の注視時間は約1.4秒（実際に画面を見ている時間は約1.1秒）であるとして、その時間内で把握できる表示情報を呈示することが望ましい。ただし、1回の注視で情報が把握できない場合には繰り返し見ることでより情報を得ることとなるが、その場合繰り返しの

回数は3回程度を限度として考えるのが適当である。

(4) HUDを表示する場合、煩わしさの観点から考えると、正面前方を原点としたとき上下方向にそれぞれ数度(約3または4度)の範囲にHUDを表示することは避けた方がよい。ただし、この範囲は水平方向位置によっても異なる。

(5) HUDの煩わしさの観点から考えると、運転者の眼の位置からHUDの虚像までの距離は長い方が望ましく、約1.5m以上離れた位置に表示することが望ましい。

8.3 今後の課題

車載表示装置の安全性に関しては未だ十分に解明されていない点が多い。運転者のわき見を誘発しないために、視線移動量の少ないHUDを利用することは、情報伝達のための有効な手段の一つと考えられる。つまり、HUDを使用することにより、前方を注視しているときに車室内表示情報を得やすくなると期待できる。しかし、逆に、HUDを注視してその表示情報を得ているときに、前方の道路交通状況をどのように認識できるかの問題がこれから議論される必要がある。視線はほぼ同じ方向を向いているにも関わらず、HUDの方に運転者の注意が集中することにより、前方の道路交通状況の把握が十分にできないおそれも考えられる。この運転者の注意に係る点の検証は未だ十分に行われていない。

また、HUDに関しては前方の風景(多くは道路)に重畳して表示されるため、周囲の視環境の変化をうけやすくなるという問題がある。その影響がどの程度であるかの定量的な把握もこれからの課題である。

通常の液晶式の表示装置による情報伝達の場合に、わき見を低減するためには音声情報の使用が有効であると考えられる。この場合の、情報入力にあたっての聴覚情報と視覚情報の最適な分担方法について、今後も実験が積み重ねられる必要がある。

さらに、表示装置による2次元的地図情報を運転者が読みとる場合に、どのように前方の現実の地理(道路風景)と関連させているかの基礎的な分野も未解明であるといえる。つまり、地図を読むということは何を意味するのかの問題がある。

また、今後増加することが確実な高齢運転者の視覚情報処理能力に関しては、処理

能力が劣ることは避けられないが、その点がどのように安全運転と関連するのか、さらに、車両側の対策技術をどうすればよいのかについて十分に検討される必要がある。

以上のように、今後の課題を概観するだけでも多くの問題点が見いだされる。本論文を出発点として、このような未解明の分野の研究を今後も進めていくこととしたい。

謝辞

本論文をまとめるにあたり、煩を厭わず懇切丁寧なご指導とご鞭撻を賜りました京都大学大学院情報学研究科 英保茂教授には、心より感謝いたします。著者の突然の依頼にもかかわらず、英保教授には快く論文執筆の指導を引き受けて頂きました。感謝の気持ちでいっぱいです。

さらに、京都大学大学院情報学研究科 金澤正憲教授ならびに同大学院工学研究科 飯田恭敬教授には、ご多忙の身にもかかわらず本論文を査読いただき、貴重なご意見を賜りました。心よりお礼を申し上げます。

また、共同研究者として共に実験を実施し実験データの解析を行った運輸省交通安全公害研究所自動車技術評価部保安装置研究室の益子仁一主任研究官、岡田竹雄主任研究官には厚くお礼申し上げます。二人のご協力がなければこの論文は誕生していなかったといえるでしょう。さらに、各種の実験を実施するにあたりいろいろとご尽力頂いた伊藤紳一郎主任研究官、松島和男主任研究官にも、あらためて深い感謝の意を表します。

この他、実験実施から論文作成にいたる過程で多くの方からのご協力、ご指導、ご助言を賜りました。心よりお礼申し上げます。

参考文献

第1章

- (1) 森田ほか：「二輪自動車の誘目性の評価 灯火器の効果と副次的タスクの影響」, 自動車技術会論文集, Vol. 26, No. 4, pp. 119-123, (1995)
- (2) Kazumoto Morita et al. "Analysis of Factors on Discernment of Auxiliary Lamps of Motorcycles", Journal of Light & Visual Environment, The Illuminating Engineering Institute of Japan, Vol.20, No.1, pp.11-17, (1996)
- (3) Kazumoto Morita et al.: "Analysis of the Appropriateness of Motorcycle Auxiliary Lamps by Means of Neural Networks", SAE 1993 Transactions Journal of Passenger Cars Section 6, Paper No. 932013, pp.2238-2248, (1993)
- (4) Kazumoto Morita et al.: "Change in Automobile Visibility at Dusk", Journal of Light & Visual Environment, The Illuminating Engineering Institute of Japan, Vol.19, No.2, pp.20-26, (1995)
- (5) Kazumoto Morita et al.: "Situation for Occurrence of Traffic Accidents at Dusk as Seen From the Standpoint of the Viewing Environment", SAE Technical Paper, No. 980015, (1998)
- (6) Ken Ikeda, Ryoubun Tachita, Akihito Shibata: "A Simulation System to Optimize Map-Matching Techniques on a Vehicular Navigation System", SAE Technical Paper No.910061, (1991)
- (7) Thomas A. Dingus et al.: "Attentional Demand Requirements of an Automobile Moving-Map Navigation System", Transpn. Res.-A, Vol.23A, No.4, pp.301-315, (1989)
- (8) Kenji Kimura, Yoshimasa Osumi, Yoshihiro Nagai: "CRT display visibility in automobiles", ERGONOMICS, Vol.33, No.6, pp.707-718, (1990)
- (9) 岸, 杉浦, 木村：「自動車用ナビゲーション画面の視認性検討」, 自動車技術会学術講演会前刷集, 911, pp. 379-382, (1991)
- (10) Jonathan Walker et al.: "In-Vehicle Navigation Devices: Effects on the Safety of Driver Performance", Vehicle Navigation and Information Systems Conference Proceedings,

- Part1, pp.499-525, (1991)
- (11)紙谷, 中村, 松本: 「車内画像情報の認知に関する一考察」, 自動車技術会学術講演会前刷集, 952, pp. 247-250, (1995)
- (12)宇津井, 井手野, 水谷: 「ナビゲーション画面の視認性」, 自動車技術会1997年春季大会エレクトロニクス&カーマルチメディアフォーラム資料, pp. 7-12, (1997)
- (13)岸, 木村, 杉浦: 「音声経路案内の人間工学的考察」, 自動車技術会学術講演会前刷集, 936, pp. 93-96, (1993)
- (14)隅田, 香川, 奥野: 「経路誘導システムのドライバ負荷軽減に関する研究」, 自動車技術会学術講演会前刷集, 946, pp. 109-112, (1994)
- (15)岸, 渡部, 中山: 「鳥瞰図地図表示ナビゲーションシステムの開発」, 自動車技術会学術講演会前刷集, 962, pp. 311-314, (1996)
- (16)Jack Beusmans et al.: 「人間の空間学習プロセスに関する基礎解析」, 日産技報, 第41号, pp. 49-52, (1997)
- (17)Nicholas J. Ward, Andrew Parkes: "Head-Up Displays and Their Automotive Application: An Overview of Human Factors Issues Affecting Safety", *Accid. Anal. and Prev.*, Vol.26, No.6, pp.703-717, (1994)
- (18)Christopher p. Gibson: "Binocular Disparity and Head-Up Displays", *Human Factors*, 22(4), pp.435-444, (1980)
- (19)Joel Norman: "Visual Accommodation and Virtual Image Displays : Target Detection and Recognition", *Human Factors*, 28(2), pp.135-151, (1986)
- (20)百名, 川原, 田中: 「ヘッド・アップ・ディスプレイの実機飛行評価試験」, 航空宇宙技術研究所資料, TM-352, (1978)
- (21)Shigeru Okabayashi et al.: "Deveolpment of Practical Heads-Up Display for Production Vehicle Application", SAE Technical Paper No.890559, (1989)
- (22)Weihsrauch et al.: "The First Head Up Display Introduced by General Motors", SAE Technical Paper No.890288, (1989)
- (23)Tadashi Iino et al.: "Development of Heads-Up Display for a Motor Vehicle", SAE Technical Paper No.880217, (1988)
- (24)Maurice S. Schaeffer, John L. Campbell: "Vertical Disparity in Advanced Automotive Displays", *Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting*, pp.1443-1447, (1988)
- (25)Raymond J. Kiefer: "Effect of a Head-Up Versus Head-Down Digital Speedometer on Visual Sampling Behavior and Speed Control Performance During Daytime Automobile Driving", SAE Technical Paper No.910111, (1991)
- (26)岡林, 古川, 坂田, 畑田: 「自動車用ヘッドアップディスプレイにおける前景情報と表示情報の認識について」, 照明学会誌, 第75巻, 第6号, pp. 267-274, (1991)
- (27)岡林, 坂田, 畑田: 「自動車用ヘッドアップディスプレイによる前景情報と表示情報の認識についてⅡ -表示像位置の高さの影響-」, 照明学会誌, 第76巻, 第2号, pp. 81-90, (1992)
- (28)岡林, 坂田, 古川, 畑田: 「自動車用ヘッドアップディスプレイにおける前景情報と表示情報の認識についてⅢ -実車走行実験評価-」, 照明学会誌, 第77巻, 第6号, pp. 285-295, (1993)
- (29)Shekhar et al.: "Design and Validation of Headup Displays for Navigation in IVHS", *Vehicle Navigation and Information Systems Conference Proceedings, Part1*, pp.537-542, (1991)
- (30)Jun'ichi Fukano et al.: "Automotive Head-Up Displays for Navigation Use", *Proc. of the 14th International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles*, Paper No.94-S2-O-02, (1994)
- (31)Nicholas J Ward, Leonard Stapleton, Andrew M Parkes: "Behavioural and Cognitive Impact of Night-Time Driving with HUD Contact Analogue Infra-Red Imaging", *Proc. of the 14th International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles*, Paper No.94-S2-O-04, (1994)
- (32)Raymond J. Kiefer: "Human Factors Issues Surrounding an Automotive Vision Enhancement System", *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 39th Annual Meeting*, pp.1097-1101, (1995)
- (33)David G. Beyerlein: "New Users and Image Sources for Head-Up Displays of the Future",

SAE Technical Paper No.950960, (1995)

- (34)本多, 坂田, 川野, 野崎, 山本: 「Add-on型ヘッドアップディスプレイHUDの開発」, 自動車技術会学術講演会前刷集, 966, pp. 21-24, (1996)
- (35)Nicholas J Ward, Andrew M Parkes, Peter R Crone: "The effect of Background Scene Complexity on the Legibility of Head-Up Displays for Automotive Applications", Proceedings of Vehicle Navigation & Information Systems Conference, pp.457-462, (1994)
- (36)岡林, 畑田: 「自動車用ヘッドアップディスプレイにおける前景視認特性 - 表示像と前景が重畳する場合 - 」, テレビジョン学会誌, Vol. 46, No. 4, pp. 508-517, (1992)
- (37)「交通統計 平成8年度版」, (財)交通事故総合分析センター, (1997)
- (38)宇野, 平松: 「複合作業下における高齢ドライバの基礎特性 - 周辺視刺激応答とハンドル追従作業との多重課題における反応 - 」, 自動車技術会論文集, Vol. 26, No. 2, pp. 61-66, (1995)
- (39)福田: 「高齢者の視覚機能」, 信学技報, Vol. 90, NO. 409, pp. 1-8, (1991)
- (40)福田, 斉藤: 「高齢者の視覚特性」, NHK技研R&D, No. 1, pp. 48-55, (1988 5月)
- (41)Karlene Ball, Cynthia Owsley, Bettina Beard: "Clinical Visual Perimetry Underestimates Peripheral Field Problems in Older Adults", Clin. Vision Sci. Vol.5, No.2, PP.113-125, (1990)
- (42)市川: 「老化と眼の機能」, 臨眼, 35巻, 1号, pp. 9-26, (1981)
- (43)矢野, 金谷, 市川: 「高齢者の不快グレア - 光色との関係 - 」, 照明学会誌, 第77巻, 第6号, pp. 296-303, (1993)
- (44)船川: 「高齢者の視覚とそのシミュレーション」, 日産技報, 第33号, pp. 72-78, (1993)
- (45)中野, 樋口, 山本: 「画像による高齢者の視覚特性再現システム」, テレビジョン学会技術報告, Vol. 20, No. 28, pp. 3-8, (1996)

第2章

- (1) JASO Z008: 「運転者アイレンジ(乗用車)」, (社)自動車技術会, (1973)
- (2) JIS D0021: 「自動車の運転者アイレンジ」, 日本規格協会, (1984)
- (3) ISO 6549: "Road vehicles - Procedure for H-point determination", International Organization for Standardization, (1980)

第3章

- (1) 宇野, 平松: 「複合作業化における高齢ドライバの基礎特性」, 自動車技術会論文集, Vol. 26, No. 2, pp. 61-66, (1995)
- (2) 浅見, 木塚: 「注視状態における視野別反応時間について」, 筑波大学体育科学系紀要, 16, pp89-97, (1993)
- (3) Arihiro Isomura et al.: "Driver's Cognition in Peripheral Field of View", SAE Technical Paper No.931876, (1993)
- (4) 三浦: 「行動と視覚的注意」, 風間書房, pp. 146-165, (1996)
- (5) 池田: 「視覚の心理物理学」, 森北出版, pp. 194-204, (1975)
- (6) 田中, 高橋, 上村, 久芳, 永谷: 「ブレーキング時におけるドライバの反応時間について」, 第4回ヒューマンインターフェースシンポジウム, pp. 291-296, (1988)
- (7) N.Schweitzer et al.: "A field study on braking responses during driving. II. Minimum driver braking times", ERGONOMICS, Vol.38, No.9, pp.1903-1910, (1995)
- (8) 岸根: 「理論・応用統計学」, 養賢堂, pp. 364-365, (1966)
- (9) 永田: 「統計的方法のしくみ」, 日科技連出版社, p. 114, (1996)

第4章

- (1) Thomas A. Dingus et al.: "Attentional Demand Requirements of an Automobile Moving-Map Navigation System", Transpn. Res.-A, Vol.23A, No.4, pp.301-315, (1989)
- (2) Jonathan Walker et al.: "In-Vehicle Navigation Devices: Effects on the Safety of Driver Performance", Vehicle Navigation and Information Systems Conference Proceedings, Part1, pp.499-525, (1991)

- (3) Shekhar et al.: "Design and Validation of Headup Displays for Navigation in IVHS",
Vehicle Navigation and Information Systems Conference Proceedings, Part1, pp.537-542,
(1991)
- (4) Jun'ichi Fukano et al.: "Automotive Head-Up Displays for Navigation Use", Proc. of the
14th International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles, Paper No.94-
S2-O-02, (1994)
- (5) 岸根: 「理論・応用統計学」, 養賢堂, pp. 343-346, (1966)
- (6) 永田: 「統計的方法のしくみ」, 日科技連出版社, p. 188, (1996)
- (7) 李, 宮崎, 村越: 「自動車走行における道路案内標識の視認性に関する研究」, デザイ
ン学研究, Bulletin of JSSD, Vol. 41, No. 4, pp. 9-16, (1994)

第5章

- (1) 大塚: 「高齢運転者の動作・行動機能」, 科学警察研究所報告交通編, Vol. 32, No. 2,
pp. 59-62, (1991)

第6章

- (1) 丸本: 「指標提示方法の違いによる調節応答特性の変化と加齢要因」, 日眼会誌94巻,
2号, pp. 197-202, (1990)
- (2) 福田ほか: 「高齢者の視覚特性」, NHK技研R & D, No. 1, 1988年5月, pp. 48-55,
(1988)
- (3) 武田: 「3次元オプトメータによる眼の調節・眼球運動・瞳孔反応の同時、実時間セ
ンシング」, 日本産業技術振興協会技術資料 1988年, pp. 24-43, (1988)

第7章

- (1) Jun'ichi Fukano et al.: "Automotive Head-Up Displays for Navigation Use", Proc. of the
14th International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles, Paper No.94-
S2-O-02, (1994)
- (2) Nicholas J Ward, Leonard Stapleton, Andrew M Parkes: "Behavioural and Cognitive

Impact of Night-Time Driving with HUD Contact Analogue Infra-Red Imaging", Proc. of
the 14th International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles, Paper
No.94-S2-O-04, (1994)

- (3) David G. Beyerlein: "New Users and Image Sources for Head-Up Displays of the Future",
SAE Technical Paper No.950960, (1995)
- (4) たとえば, 岡林, 古川, 坂田, 畑田: 「自動車用ヘッドアップディスプレイにおける前景
情報と表示情報の認識について」, 照明学会誌, 第75巻, 第6号, pp. 267~274,
(1991)
- (5) 岡林, 坂田, 畑田: 「自動車用ヘッドアップディスプレイによる前景情報と表示情報の
認識についてⅡ -表示像位置の高さの影響-」, 照明学会誌, 第76巻, 第2号,
pp. 35-44, (1992)
- (6) 矢野, 金谷, 市川: 「高齢者の不快グレア-光色との関係-」, 照明学会誌, 第77巻,
第6号, pp. 296-303, (1993)
- (7) K.Sagawa, K.Takeichi: "Spectral luminous efficiency functions in the mesopic range",
J.Opt.Soc.Am.A/Vol.3, No.1/January, pp.71-75, (1986)
- (8) 照明学会: 「照明ハンドブック」, オーム社, p. 749, (1978)
- (9) 坂本, 石黒, 北川: 「情報量統計学」, 共立出版, pp. 42-64, (1983)
- (10) 市川: 「老化と目の機能」, 臨床眼科, Vol. 35, No. 1, pp. 9-26, (1981)
- (11) (社) 照明学会編: 「ライティングハンドブック」, オーム社, p. 30, (1987)
- (12) Y. K. リン著, 森, 富田, 小林, 佐藤, 小林共訳: 「構造動力学の確率論的方法」, 培風館,
pp. 71-72, (1972)
- (13) 岸根: 「入門より応用への統計理論」, 養賢堂, pp. 224-227, (1976)
- (14) JASO Z008: 「運転者アイレンジ(乗用車)」, (社) 自動車技術会, (1973)
- (15) 岡林, 坂田, 古川, 畑田: 「自動車用ヘッドアップディスプレイによる前景情報と表示情
報の認識についてⅢ -実車走行実験評価-」, 照明学会誌, 第77巻, 第6号,
pp. 285-295, (1993)
- (16) Karlene Ball et al.: "Clinical Visual Perimetry Underestimates Peripheral Field Problems
in Older Adults", Clin. Vision Sci., Vol.5, No.2, pp.113-125, (1990)

(17)三浦：「行動と視覚的注意」，風間書房，pp. 56-57, (1996)

(18)David Shinar: "Psychology on the Road - The Human Factor in Traffic Safety", John Wiley & Sons, Inc., (1978)

(19)苧阪, 中溝, 古賀編：「眼球運動の実験心理学」，(財)名古屋大学出版会，p. 145, (1993)

(20)浅見, 木塚：「注視状態における視野別反応時間について」，筑波大学体育科学系紀要, 16, pp. 89-97, (1993)

第8章

(1) Monique Vernet et al.: "Results of Traffic and Road Information Experiments: Usability of Traffic in-car Messages according to Presentation", V2008 HARDIE (Harmonisation Of Att Roadside and Driver Information in Europe), Deliverable No. 12.2, (1996)

本論文の構成に関わる主たる論文

(1) 森田, 益子, 岡田, 伊藤：「二輪自動車の誘目性の評価 - 灯火器の効果と副次的タスクの影響 -」, 自動車技術会論文集, Vol. 26, No. 4, pp. 119-123 (1995) (第1章)

(2) Kazumoto Morita et al. "Analysis of Factors on Discernment of Auxiliary Lamps of Motorcycles", Journal of Light & Visual Environment, The Illuminating Engineering Institute of Japan, Vol. 20, No. 1, pp. 11-17 (1996) (第1章)

(3) Kazumoto Morita et al.: "Analysis of the Appropriateness of Motorcycle Auxiliary Lamps by Means of Neural Networks", SAE 1993 Transactions Journal of Passenger Cars Section 6, Paper No. 932013, pp. 2238-2248 (1994) (第1章)

(4) Kazumoto Morita et al.: "Change in Automobile Visibility at Dusk", Journal of Light & Visual Environment, The Illuminating Engineering Institute of Japan, Vol. 19, No. 2, pp. 20-26 (1995) (第1章)

(5) 森田, 益子, 岡田：「自動車の車室内表示装置を注視することによる反応時間の遅れについて」, 照明学会誌, 第82巻, 第2号 pp. 121-130 (1998) (第3章)

(6) Kazumoto Morita et al.: "Legibility of Displayed Place Names by In-Vehicle Navigation Devices", Journal of Light & Visual Environment, The Illuminating Engineering Institute of Japan, Vol. 20, No. 1, pp. 18-25 (1996) (第4章)

(7) Kazumoto Morita et al.: "Legibility of the Name of the Destination among Multiple Place Names Displayed by In-Vehicle Navigation Devices", Journal of Light & Visual Environment, The Illuminating Engineering Institute of Japan, Vol. 21, No. 1, pp. 10-17 (1997) (第5章)

(8) 森田, 益子, 岡田：「自動車用ナビゲーションシステムの表示情報の判読性 - 目的地の読みとり時間に関する要因分析 -」, 照明学会誌, 第81巻, 第8A号 pp. 61-68 (1997) (第6章)

(9) 森田, 益子, 伊藤, 岡田：「自動車用ヘッドアップディスプレイの明るさ感評価結果 - 観測者の加齢及び作業負荷による影響 -」, 照明学会誌, 第80巻, 第2号 pp. 44-52 (1996) (第7章)

- (10) 森田, 益子, 岡田: 「自動車用ヘッドアップディスプレイの煩わしさ感に関する考察
 (第1報) -表示位置と運転者の目の位置による影響-, 照明学会誌, 第81巻, 第2
 号 pp. 19-25 (1997) (第7章)
- (11) 森田, 益子, 岡田: 「自動車用ヘッドアップディスプレイの煩わしさ感に関する考察
 (第2報) -表示輝度, 観測者の年齢及び運転時の影響-, 照明学会誌, 第81巻, 第
 8A号 pp. 20-29 (1997) (第7章)

その他関連する論文発表

- (1) 森田, 益子, 岡田, 伊藤: 「二輪自動車の視認性の評価値に関するファジィ解析」, 第8
 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp. 617-620 (1992)
- (2) 森田, 益子, 岡田, 伊藤: 「運転者の時間感覚に及ぼすタスクの影響」, 日本機械学会第
 70期全国大会講演論文集, Vol. E, pp. 520-522 (1992)
- (3) 森田, 益子, 岡田, 伊藤: 「昼間時における二輪自動車の前照灯点灯の効果」, 自動車技
 術会学術講演会前刷集924, pp. 201-204 (1992)
- (4) 森田, 益子, 岡田, 伊藤: 「二輪自動車の誘目性等に及ぼす副次的なタスクの影響」, 自
 動車技術会学術講演会前刷集935, pp. 165-168 (1993)
- (5) 森田, 益子, 伊藤, 岡田: 「各種条件下における自動車用ヘッドアップディスプレイの
 明るさ感評価結果」, 平成7年度照明学会全国大会講演論文集, pp. 170-171 (1995)
- (6) 森田, 益子, 岡田: 「ナビゲーション装置によって表示される地名の判読性」, 自動車
 技術会学術講演会前刷集966, pp. 17-20 (1996)
- (7) Kazumoto Morita et al.: "Considerations on a Feeling of Troublesomeness Regarding
 Automotive Head-Up Displays During Driving", SAE Technical Paper Series No.970229
 (1997)
- (8) Kazumoto Morita et al.: "Factor Analysis of the Time Required to Read the Name of the
 Destination among Place Names Displayed by In-Vehicle Navigation Devices", The 9th
 International Pacific Conference on Automotive Engineering, Vol.2, pp.55-60 (1997)
- (9) Kazumoto Morita et al.: "Situation for Occurrence of Traffic Accidents at Dusk as Seen
 From the Standpoint of the Viewing Environment", SAE Technical Paper Series
 No.980015, (1998)