HOKKAIDO UNIVERSITY

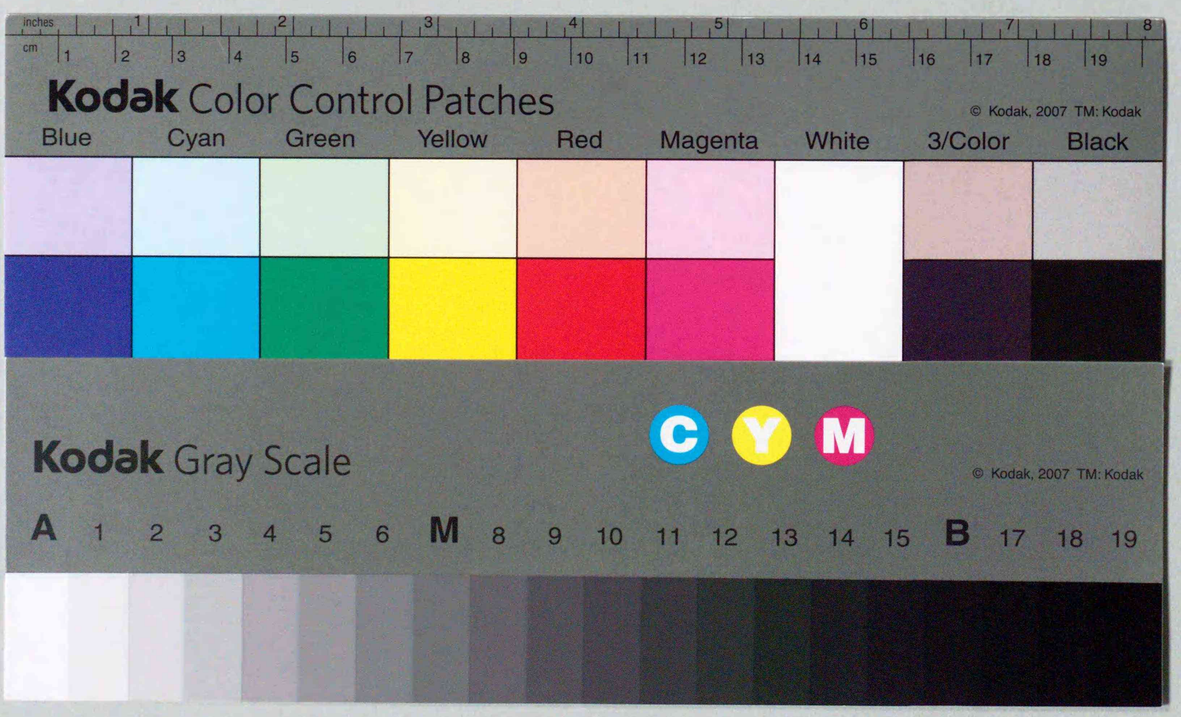
Title	運転者の視点に関する研究
Author(s)	萩原, 亨
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	乙第4060号
Issue Date	1992-03-25
DOI	https://doi.org/10.11501/3060725
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/49805
Type	doctoral thesis
File Information	000000249690.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

建設業の現場に関する研究

李 長庚

101年11月



1

運転者の視点に関する研究

1991年11月

萩　原　　亨

運転者の視点に関する研究

目　　次

第１章　序　論　1

第２章　運転者の視点に関する従来の研究　5

２．１　概　説　5
２．２　視覚に関する研究　5
２．３　眼球運動と形態知覚に関する研究　6
2.3.1　眼球運動に関する研究　6
2.3.2　眼球運動の意味　8
2.3.3　形態知覚に関する研究　8
２．４　アイカメラを用いた運転者の視点の研究　9
２．５　ま と め　12

参 考 文 献　14

第３章　眼球運動の測定手法　17
３．１　概　説　17
３．２　眼球運動の検出法　17
3.2.1　EOG(Electro-Oculogram)法　17
3.2.2　角膜反射法　19
3.2.3　角膜と強膜の反射率の違いを利用する強膜反射方式　19
3.2.4　磁気誘導による方法　20
３．３　"Vision Analyzer"　21
3.3.1　検出部　22
3.3.2　処理部　23
3.3.3　初期設定　23
３．４　"Vision Analyzer"を用いた注視点の定義　24
３．５　トーク・アイ　27
3.5.1　トーク・アイの構成　29

3.5.2 初期設定の自動化 30
3．6 まとめ 31

参考文献 32

第4章 新しい眼球運動測定装置"Vision Analyzer"による運転者の視点測定 35

4．1 概説 35
4．2 運転者の視点の測定 35
4.2.1 アイカメラによる運転者の視点の測定 35
4.2.2 "Vision Analyzer"による運転者の視点の測定 37
4．3 "Vision Analyzer"を用いた実車による視点測定実験 38
4．4 街路における視点の測定と分析結果 38
4.4.1 街路における視点測定の目的 38
4.4.2 街路における視点測定実験 38
4.4.3 街路における視点測定結果 39
4．5 郊外の左カーブにおける視点の測定と分析結果 41
4.5.1 左カーブ区間における視点測定の目的 41
4.5.2 左カーブ区間での測定実験 41
4.5.3 左カーブ区間での視点測定結果 41
4．6 まとめ 43

参考文献 45

第5章 運転者の眼球運動と走行条件の関係 47
5．1 概説 47
5．2 運転者の視点測定方法 47
5.2.1 "Vision Analyzer"の初期設定 48
5.2.2 測定装置の装着手法 49
5．3 実験条件 49
5.3.1 路線 50
5.3.2 被験者 50

5.3.3 車種 50
5.3.4 昼間と夜間 51
5．4 実験結果の分析 51
5.4.1 視点分布と走行条件 53
5.4.2 視点分布と被験者 55
5.4.3 注視時間分布 57
5.4.4 視点移動距離 59
5.4.5 分析結果 59
5．5 まとめ 62

参考文献 63

第6章 運転者の3次元視点位置とその評価手法 65
6．1 概説 65
6．2 3次元視点位置の算定法 65
6.2.1 頭部運動の測定 65
6.2.2 道路構造 68
6.2.3 視覚対象物 68
6.2.4 視点の3次元位置と道路空間 69
6．3 3次元視点位置の分析 72
6.3.1 視点位置の表示と視覚探索パタン 72
(1) 運転者の真上から見た視点 73
(2) 運転者の後方から見た視点 74
(3) 運転者の横方向から見た視点 75
6.3.2 注視時間 76
6.3.3 進行方向の視点位置 77
6．4 運転者の情報収集パタンの評価 79
6.4.1 情報量とエントロピーの定義 79
6.4.2 道路環境とエントロピー 80
6.4.3 運転者の情報収集能力 80
6．5 まとめ 83

参考文献 84

第７章　新しい視点解析システムの開発　87
７．１　概　説　87
７．２　従来の運転者の視点解析手法の問題点と本システムの特徴　87
７．３　３次元空間の基礎的な概念　89
7.3.1　３次元グラフィックス　89
7.3.2　３次元空間における座標系　90
7.3.3　座標系の変換　91
(1)　モデリング変換　91
(2)　投影変換　91
(3)　ワークステーション変換　92
７．４　新しい視点解析システム　93
7.4.1　運転者の視点の３次元化　93
7.4.2　３次元視点位置を表示する動画像の作成　93
(1)　運転者の３次元視点位置の２次元表示　95
(2)　２次元表示による動画像の作成　96
7.4.3　コンピュータによる動画像とビデオ映像の合成　97
(1)　カメラの視点座標系と視点を表示する視点座標系との一致　97
(2)　時間的同期　97
７．５　新しい視点解析システムの適用　97
7.5.1　視点位置の再合成例　99
7.5.2　新しい視点解析システムの精度　99
７．６　ま と め　99

参 考 文 献　101

第８章　吹雪時における運転者の視覚挙動　103

８．１　概　説　103
８．２　実験条件　103
8.2.1　測定区間（サラキトマナイ地区）　104
8.2.2　被験者　104
8.2.3　実験に用いた車両　105
8.2.4　気象条件と視程距離の測定　106

8.2.5　測定データの整理と視点の解析　107
8.2.6　走行速度と視程距離　108
８．３　吹雪の中での運転者の見方　109
8.3.1　直線を運転しているときの視点の動き　109
8.3.2　カーブを走行する場合の視覚探索パタン　112
8.3.3　先行車に追従している場合の視覚探索パタン　114
8.3.4　対向車の確認　115
8.3.5　標識の視認　116
8.3.6　吹雪時の被験者の見方についてのまとめ　119
８．４　吹雪時の視点移動角速度と３次元視点位置　120
8.4.1　視点の移動角速度による評価　121
8.4.2　注視点による評価　123
(1)　注視時間による評価　123
(2)　注視点間の移動角速度による評価　125
8.4.3　視点の分布と位置による評価　126
(1)　被験者Aの視点位置と分散　126
(2)　被験者Bの視点位置と分散　129
(3)　被験者Cの視点位置と分散　129
(4)　注視点の位置　130
(5)　視点の位置と分散による解析結果のまとめ　130
8.4.4　各評価の結果のまとめ　132
８．５　ファジイ・エントロピーによる吹雪時の情報収集パタンの評価　133
8.5.1　ファジイ・エントロピーの定義とその適用　133
8.5.2　視程距離とファジイ・エントロピー　135
8.5.3　ファジイ・エントロピーによる視点の評価結果　137
８．６　ま と め　138

参 考 文 献　139

第９章　運転者の情報収集パタンと走行条件　141
９．１　概　説　141
９．２　視点の解析手法と測定実験　141
9.2.1　視点の測定手法と解析手法　141
9.2.2　実車実験　143
9.2.3　眼球運動の定義　144

９．３　運転者の視点と走行条件　145
9.3.1　走行条件と運転者の眼球運動　146
9.3.2　視点位置の分布　148
9.3.3　分析結果　151
９．４　運転者の情報処理速度　152
9.4.1　画像情報量の定義　152
9.4.2　運転者の情報処理速度と走行条件　154
9.4.3　分析結果　155
９．５　ま と め　155

参 考 文 献　157

第１０章　結　　論　159
１０．１　"Vision Analyzer"の運転者の眼球運動測定への導入　159
１０．２　運転者の３次元視点位置とその評価手法　159
１０．３　新しい視点解析システム　160
１０．４　吹雪時における運転者の視覚挙動　161
１０．５　運転者の情報収集パタンと走行条件　163

謝　　辞　165

第１章　　序　論

道路交通は、道路・車両（自動車から三輪車まで）・人間（運転者・歩行者）から構成されている。この道路交通システムにおいて、人間は運転動作を行う。したがって、このシステムのオペレートは、人間の行動にかかわってくる。調和のとれたシステム制御を行うには、人間に多くの技術が要求される。そして、事故が起こるときはいつも問題になることであるが、システムのブレークダウンの原因の多くを人間が負うことになる。

このシステムにおける情報処理者としての運転者の役割は、道路状況・他の交通の状況・自車の状況を視覚から入力し、適切なコントロール動作に関する意志決定を下し、この動作を行い、それによって生じる新しい状況を観察し、反応することである。

行動に関する研究は、心理学や医学の分野で過去一世紀にわたって発展をみているが、本論文で扱う眼の動きに関する基礎的、応用的研究も、今世紀初頭以来、個々の学問分野で体系が確立しつつある。

しかし、その研究成果をそのまま道路交通システムに生かすことは困難である。なぜなら、各分野にはそれぞれの学問体系があり、一つの行動についての研究も、研究者の分野によって体系内の位置づけが異なるためである。例えば、臨床医学における眼の動きの研究は、主として眼の疾病の追求を終局の目的としたものであり、生理学においては眼の動きの生理的メカニズムを探求することに目的を有し、心理学においては、眼の動きを心理的現象としてとらえて心理の法則性の説明として研究される。

道路交通システムでの行動とは、技術的成果である道路構造とそれを利用する運転者及び歩行者との関連性を追求するために研究されるべきものである。この関連性を明らかにすれば、人間行動を考慮したよりよい機能をもつ新たなシステムが生まれるようになることが期待される。

運転者の視覚挙動の問題は、道路およびその付帯構造物、関連施設の計画や設計において考慮すべき事項や基準を得るためにとり上げた物である。眼球運動は、視覚情報を得るための行動と定義したい。これを定義する理由は、眼の動きのうちでも、たとえば迷路性眼振と呼ばれる現象などのように、生理的な原因による

眼の不規則な微細な動きがあり、このとき眼の動きは視覚的情報の受容とは無関係に取り扱われるためである。

本論文は、運転者が運転中に何をどのように見ているのかを知ることを目的として過去5年間に行なってきた研究をまとめたものである。運転者の眼球運動の測定法・解析法・評価法に関して新たな手法の提案を行った。近年の急速な科学技術の進歩による測定手法を用い、解析手法にも最新の技術を注いだ。

本論文は１０章から構成されており、その内容は以下のように要約される。

第１章は本論文の序論であって、道路交通における運転者の役割を述べるとともに、各章の内容を簡単に記している。

第２章では、眼球運動の生理学的な意味と位置づけについて述べる。後半で、運転者の視点の研究について整理した。運転者の視点とその挙動に関する研究と交通問題におけるそれらの研究の位置付けについて論じる。

第３章では、新しい眼球運動の測定方法"Vision Analyzer"について述べる。現代の科学技術の大幅な進歩により、1970年代に使われた眼球運動測定手法より数段進歩したものである。始めに、"Vision Analyzer"の原理と特徴について説明する。次に、眼球運動における随従運動成分の測定例から人間の情報受容に適合した注視成分を定義する。この研究結果は、第８章と第９章で運転者の情報処理について検討する場合に応用した。最後に、"Vision Analyzer"を発展させた眼球運動測定装置であるトーク・アイについて説明する。

第４章では、初めて"Vision Analyzer"を用いて運転者の視点を測定した結果について述べる。視点の測定は、信号交差点を多数含む札幌市内中心部の路線と曲線半径の小さいカーブが連続する郊外の路線で行った。視点と道路条件の関係について定性的な検討を行った。また、交通工学的な観点から測定装置システム全体の有用性及び問題点についても検討した。視点のリアルタイム処理ができるようになったこと、測定装置が被験者の視野へ与える影響が少なく実験条件が拘束されないこと等の長所は、従来のシステムに比べて格段の進歩が認められた。

第５章では、"Vision Analyzer"を用いて、種々の条件で運転者の眼球運動を測定した。第４章の経験を生かし、初期設定の方法や運転者への装置の装着方法などに改良を加えた。本章の実験は、運転者の眼球運動と走行条件の関係を知ることを目的として実施した。リアルタイム処理可能な特徴を生かして、種々の走行条件で眼球運動の測定を繰り返し行った。実験には、比較のために大型車も用いた。実験で走行したコースは、道路の周辺に商店やビルの多い街路と、周りに建物はないが交通量の激しい幹線道路の二つのタイプの道である。

これらの条件で、昼間と夜間において実験を行った。その結果、同じ被験者で走行条件が類似している場合の視点分布はほぼ同じであった。特に、運転に慣れている運転者は、毎回ほとんど同じ視点分布を示した。一方、走行条件の違いが視点分布に与える影響は、被験者により程度の違いは見られたが、同じ傾向を示した。

第６章では、運転者が見ている道路上の３次元視点位置を求める手法を開発し、運転者の見方を評価した。第５章で測定した視点は、眼の動きの測定値のみによる視点であった。頭部の動きが視点データに加わっていないため、視点と道路空間の関係を直接結び付けることはできなかった。そこで、頭部運動を測定する方法を導入し、眼球運動のデータと合成した。その結果、運転者が見た位置を３次元的に求めることが可能となり、視点と道路空間の関係を計算機内で結び付けれるようになった。

一方、運転者の情報収集パタンを評価する新しい手法を導入した。運転者の視覚行動は道路環境を情報源とする情報の収集であると仮定した。運転者が得ている情報量の平均値であるエントロピーを指標として、情報収集パタンを評価した。これにより、運転者が運転中に得ている情報量を推定した。

第７章では、運転者の視点を表示する画像とカメラ映像を実験後に合成することにより、視点とカメラ映像の関係をより明確にできる新しい視点解析システムについて述べる。従来の視点解析システムでは運転者とカメラの視点座標系の一致の定義があいまいであった。また、第６章のシステムは、運転者の視点表示画像とカメラ映像を合成するシステムを持たないため、視点が示す視覚対象物の判断が困難であった。新たに開発した視点解析手法では、視点と映像内の視覚対象物の関係が明確になった。

第８章では、吹雪時における運転者の視覚挙動について多角的に検討した。吹雪時における安全な走行を確保することは、冬期間の道路交通において大きな課題である。吹雪時における安全走行を確保するための具体的な対策を考える上で、吹雪時の運転者の視覚的な状況を把握することは重要であろう。これまで、吹雪が激しくなった状態での運転者の視覚的な評価は、車両の挙動や運転者の報告等から間接的に行う以外方法がなかった。実車による測定実験は、国道40号線の稚内市に近接したサラキトマナイ地区で行った。視程距離が200m以下での測定を実施することができた。第７章で開発した視点解析システムを応用し、吹雪時の測定を行い運転者の視覚挙動の評価を行った。

第９章では、種々の走行条件での測定実験の結果から、走行条件と運転者の情報収集パタンとの関係について細かく分析した。実車実験は、高速道路で実施した。その主な理由は、一般道路では統制されない変数が極めて多く、環境のごく限定された側面だけを統制してもその要因の影響が埋もれてしまう可能性があるからである。また、実験時の安全の確保が必要だからである。比較を行う走行条件は、速度の高低、昼夜、先行車の有無と道路線形の４つである。評価指標としては、運転者の眼球運動、３次元視点位置と情報処理速度を取り上げた。情報処理速度は、運転者が注視を行っている視覚対象物の画像情報量から求めた。そのため、画像情報を情報量に算定する手法を導入した。人間の通常の情報処理速度と比較した。

第１０章の結論は、前章までに得られた結果を総括し本論文の成果としている。

２章　運転者の視点に関する従来の研究

２．１　概　説

眼球には、鮮明な映像を得ることのできる中心窩と呼ばれる領域がある。したがって、鮮明な映像を得るためには眼球を動かす必要がある。このような理由から、眼の動きを測定する研究が進められ、多くの方面で人間の応答を測定するデータとして応用されるようになってきた。運転者の問題については眼球運動の測定が実用化段階に入った初期の時代から応用されてきている。

本章では、最初に視覚に関する研究を簡単に振り返える。次に、視覚の研究の流れの一つとして始まった眼球運動と形態知覚に関する研究についてまとめ、眼球運動を測定する意味について検討する。最後に、このような眼球運動と形態知覚の研究成果を生かして、運転者の行動を捉えようとした従来の研究についてまとめる。

２．２　視覚に関する研究

視覚に関する研究は、医学・生理学・心理学・物理学・工学の分野に広がっている。解剖学的研究は、臨床医学と生理学に発展した。生理学の研究は、視覚の認知に関するメカニズムを眼球と脳の関係において解明しようとしている。心理学は、眼の動きから映像が心理的に与える影響を捉えようとしている。物理学は、光の本質から眼がどのように光を処理するかを解明しようとしている。工学は、これらの学問分野から得られた知識を基に人間の行動を把握して、新たな技術を開発しようとしている。これらの視覚の研究の歴史を簡単にまとめる。

視覚の研究は２世紀に行われた Galen による眼球の解剖学的研究に始まると言われている[1]。初期の研究として、 Leonardo da Vinci(1452-1519)の研究が挙げられる。彼は線遠近法を確立したことで有名だが、もう一つの重要な研究として対比現象の研究がある。彼は基本的な色が、白・黄・緑・青・赤・黒の６色であるとし、白－黒・黄－青・赤－緑の間で特に強い対比が生ずることを発見している。

眼光学系の研究は、物理学者の Johannes Kepler(1571-1630), Issak Newton (1672-1727)の光学的法則の発見によってさらに進歩した。解剖学的研究から網膜

に関する研究が、17,18世紀になって開始された。Gratiolet (1854)は、視神経が大脳視覚領に到達するまでの経路を初めて詳しく記述した。

心理学的な視覚系の研究は19世紀後半から始まった。心理学的研究は、Ernst H.Weber(1975-1878)が閾値の実験から導きだしたいわゆるWeberの法則に始まる。その後 Gustav Fechner (1801-1887)がこの法則を定式化し、感覚量が物理量の対数関数に比例することを示した。20世紀初頭には、いわゆるゲシュタルト学派の Max Wertheimer(1880-1943), Wolfgang Koler(1887-1967),Kurt Koffka(1886-1941)らにより視覚体制化の法則が確立された。

20世紀前半から生理学的な研究が盛んになった。Edger D.Adrian(1889-1977)は1927年視神経から電気信号を記録することに成功した。H.Keffer Hartlineは1949年カブトガニの複眼の電気生理学的研究から則抑制機構を発見した。　また、Stephan Kuffler(1913-1980)によるネコの網膜神経節細胞の電気生理学的研究によって、その後の脳研究に大きな影響を与えた。

2．3　眼球運動と形態知覚に関する研究

2．3．1　眼球運動に関する研究

眼球の動きの測定とその意味についての研究は、20世紀初頭に生理学の分野で進歩した。半世紀にわたって研究が行われ、眼球運動の定説が固定した。眼球に関係する運動は微細な運動量で自動的な眼球内運動と、眼球自体の運動すなわち狭義の眼球運動と、両眼視などの眼球間運動があり、これに眼球周辺組織ならびに支持系の運動を加えて4種類に大別される。

眼球内運動には、毛様体筋による水晶体調節運動と瞳孔括約筋および散大筋による虹彩調節運動がある。前者は写真機におけるピント合わせと類似の運動で、不随意的・自動的な運動である。後者は写真機における絞りと類似の瞳孔の運動である。Hess & Polt(1960,1964,1966)[2)-4)]、Bernick & Oberlander(1968)[5)]、や船津(1969)[6)]らによる研究が知られている。

狭義の眼球運動を大別すると視覚対象の探索・選別のためのマクロな運動と、一見無意味にみえるミクロな運動とがある。前者の運動の意味はわれわれが日常体験するところから自明のことであるが、後者は自覚もなく、科学的にも十分説明ができていない。狭義の眼球運動は、眼球の回転運動の振幅により、固視微動・随従運動・跳躍運動の三つに大別される。これらについて簡単に説明する。眼球運動の測定方法については、第3章で詳しく説明する。

a）固視微動（注視）：1点を凝視しているとき、目は完全に止まっているように思われるが、実際には激しく細かく動いている。この動きを固視微動と呼び、固視微動にはトレモル（tremor）、ドリフト（drift）やフリック（flick）と呼ばれる成分を含む。これらの運動は、不随意運動である。

トレモルは凝視時にみられる高周期の微細振動で、その振幅はAlpern(1962)[7)]によれば中央値17.5秒、最大で120秒で、30-100Hzの繰り返し現象であるとされている。Yarbus(1965)[8)]は20-40秒,70-90Hzであると述べ、Whitteridge(1960)[9)]は4-6秒,30-50Hzといっている。

ドリフトは、トレモルより動きの大きいゆるやかな動きで、中心視の範囲内で5分くらいが共通であり、その角速度は1分/秒である運動である。

フリックは、Alpern(1962)[7)]によれば振幅で1-20分、平均では5.6分で角速度10度/秒程度の眼球運動である。Yarbus(1965)[8)]によれば1-50分の範囲に分布し、2-13分のものが最多であるという。

コンタクトレンズに視標を固定した特殊な装置を作り、固視微動を完全に消滅させた状況を作ると網膜像は完全に消失する。これを静止網膜像という。このことは固視微動は外界から情報を入手するための大切な動きであることを示している。 Ratiff & Riggs(1950)[10)], Riggs(1953)[11)], Pichard(1961)[12)], Yarbus(1965)[8)]らの研究が知られている。

b）随従運動：振り子のような正弦波状に速度の変わる視標を追ったときの視線の動きによく現れるのが随従運動である。視標の速度が遅いとき視線は視標によく追従するが、視標の速度が速くなると視線は追従できなくなり視標とのずれが大きくなり跳ぶような速い動きを行う。動画像など動く視対象を追従する際のみに生じる動きを随従運動（smooth pursuit movement）と呼ぶ。最高速度は30 deg/secに達するが普通は数deg/sec程度である。

c）跳躍運動：跳ぶような速い眼球の動きが跳躍運動（saccade,saccadic eye movement）である。saccadeというのはかけ足中の馬の騎手の身体運動であって、読書の眼球運動をはじめて詳しく観察したJaval(1879)[13)]が連想して名付けた。最高速度は600deg/secに及ぶ。静止画を見たときに注目している視対象を移動する際に生じる眼球運動はすべて跳躍運動である。

これまで述べてきた各種の眼球運動が対として生じる以外に重要な両眼間の共同運動としては、統一運動としての輻輳・開散運動と共軛運動がある。両者とも統合された注視運動であるが、前者は各単眼の反対方向での共同運動であり、後者は同方向での共同運動である。これらについてはJudd(1907)[14],Yarbus(1965)[8]らにより研究されている。

さらに、眼球を中心とした周辺の運動も考える必要がある。一つは、眼瞼運動である。Adler(1965)[15]の研究によれば、正常な眼瞼運動は a)blinking,と b)winking に分けれ、前者の時間は0.3-0.4秒でありその回数は毎分15-20回程度であると言われる。もう一つは、頭部運動に代表される眼球支持系の運動である。これらの運動に関しても眼球運動と連動しており、重要な運動であると言える。

２．３．２　眼球運動の意味

周知のごとく人間の網膜は写真のフィルムとちがって感受性が空間的に一様でなく、視力は中心窩を離れると急速に低下する。したがって視覚対象の鮮明な印象を得るためには眼球の中心回転が必要となる。眼球運動は基本的には生物心理学的意味を有する。

Polyak(1941)[16]によれば網膜中心部の中心視窩で直径視角80分、中心窩全体で直径が5度の領域が視力がもっとも鋭い。形態知覚を考えるとき、多くの場合用いられる図形は視角5degをこえている。そのため形態知覚のときには必ず眼球運動が生ずる。

読書や画像に対する視線の運動において、いかなる幾序で、周辺視野情報を得て、次の停留点（中心視）が選ばれるのか、まったく明かでないと言っても過言ではない。曖昧な対象、未知の対象に対する視線の軌跡と、よく経験した対象に対する軌跡とでは非常に異なる。過去の経験が何らかの神経回路を経て、時々刻々の眼球運動を統制しているのは驚くべきことである。

２．３．３　形態知覚に関する研究

形態知覚と眼の動きについては、心理学の分野で研究が20世紀の前半から進められた。20世紀の前半において眼球運動の記録装置は未発達であった。記録装置は今日みられるごとく、視覚対象と自動的に重なるものではなく、記録をいちいち原刺激と対応させねばならなかった。初期のものとして、心理学における読みの際の眼の動きに関する研究や絵画に対する注視行動の研究があった。また、対象に対する注意との関連でも研究がなされていた。

近年の技術的進歩は眼球運動測定装置の記録精度をたかめ、対応確認の自動化

も可能になったので、それまで残されていた非言語的刺激、すなわち、図形、画像、映像を対象にした実験が急激に進んできた。特に、1960年前後から光学的測定装置が発達することに伴って盛んになってきた。

苧坂ら(1962)[17]は知能検査の図形分割の問題を解決中の視線の軌跡をとらえて分布を描いた。Zusne & Michels(1964)[18]は図形を7人の被験者に8秒間みせて凝視点の分布図を作成した。図形の角の部分や、伸びた部分などの密度が高くなっている。Yarbus(1965)[8]は、典型的な走査パタンについて詳しく説明している。彼は走査パタンを調べて、情報価値の高い部分が非常に注視されやすいことに気づいた。Gibson(1966,1979)[19][20]は知覚の流動モデルを提案した。つまり、見るということは、基本的には視点を動かしつつ見ることであるとし、視覚情報に含まれる様々な微分情報が、対象を知覚する上できわめて重要な役割をはたしていると考えた。

以上のような研究以外に、レーダー探索、飛行機の操縦、テレビ映像、広告や建築、そして本論文の主題である自動車運転者の分野における眼の動きの研究が始められた。

形態知覚において、眼球運動がいかなる役割を果たすか、その視覚走査は視覚情報処理過程にいかに位置づけられるか、などについては、眼球運動の研究が形態知覚の理論的基礎づけに貢献することを期待されている。しかし、現状では理論的というよりも、視線の軌跡を追うという実際的な展開が多い。

２．４　アイカメラを用いた運転者の視点の研究

安全の側面から運転行動を考えた場合、情報摂取に際しては、視機能そのものよりも、視機能を用いて、何をどのように情報として摂取するかの過程を問題にする必要性を指摘しうる。この過程の研究方法としてはアイカメラ法を用いた眼球運動の分析によるものが中心になっている。

注視対象と関連づける研究には光学的方法の一つである角膜反射法による装置が主として用いられるようになってきた。ナック社製のアイマーク・レコーダと呼ばれる装置が運転者の視点の測定に用いられた。アイマーク・レコーダによれば、視野の画像の中に注視点が光点として重複して撮し込まれ、それを映画のフィルムやビデオレコーダーに記録する。

海外では、Mourant & Rockwellらが、視野における注視時間の分布、注視対象物と注視時間の関係等の基礎的な研究を行い、さらに初心者と経験者の視覚情報摂取パタンの比較を行った[21)22)]。Kaluger&Smithは、長距離運転と睡眠奪取条件において[23)]、Cohenは、道路上の予期しない障害物の近傍を通過する時の眼球運動を記録し解析を行った[24)]。また、Shinarらは、カーブにおける運転時の視覚情報摂取過程について研究を行った[25)]。

国内では、村田らが運転者の注視点分布、注視時間分布、注視対象までの距離について分析を行い、注意の集中の度合と眼球運動の関係を示す指標として凝視度を定義した[26)27)]。また、長山らは、二輪車運転時と四輪車運転時の眼球運動の比較を行い、その視覚探索パタンの違いを示した[28)]。これらの研究について簡単に紹介する。

a）Mourant & Rockwell(1968)[21)]は、アイマーク・レコーダによる運転者の測定を初めて行った。運転者の視点が昼間より夜間に運転者に接近することを見いだした。また、この実験により測定装置の精度を測定した。誤差は全ての実験において±1degの範囲内であった。

b）Kaluger & Smith (1970)[23)]は長距離運転と睡眠奪取（24時間）条件のもとでの眼球運動について分析した。被験者はインターステイト・ハイウェイを720 km、約9時間にわたってほとんど無停止で走行した。普通睡眠条件では走行開始時に前方地平線上にあった注視点が長距離運転によって前方30-40mの位置に近づき、しかも右側（道路端）に移動した。睡眠奪取条件では、水平方向の注視点が走行開始時からすでに右へ移動しており、長距離運転によって下方へ移動した。

これらの結果から正面を注視していても周辺視でモニターできる周辺部を、注視しなければ十分な情報収集ができなくなり、睡眠奪取によって周辺部の感受性が低下する、つまり知覚範囲が狭くなることが示された。また対象への追従時間は睡眠奪取条件において長く、右方向への追従視が多くなる。睡眠奪取によって情報収集の時間配分が不適切になり、多くの対象に長い時間をかけるようになる。

c）Mourant & Rockwell(1972)[22)]は初心者と経験者との視覚・走査パタンの比較を行い、freeway運転中に経験運転者は車のはるか前方を見、水平方向への幅広い走査を行うのに対し、初心者は前方近いところ、レーンマークなどをよく注視し、水平方向についても視野の中心に集中する傾向を見い出した。経験者が周辺視で自車の走行位置をモニターするのに対し、初心者は追従運動でレーンマークなどの対象を追い続け、一つの対象への注視時間が長い。さらに初心者は速度計を多く注視するのに、サイドミラー、バックミラーの注視回数が少ない。

以上の結果から初心運転者は、技術未熟であり過負荷の状態におかれ、視覚情報摂取過程については、特定の対象に偏った、狭い範囲になっており、事故の危険性を含む環境を発見することが困難であり安全ではないとしている。

d）Cohen(1976)[24)]は道路上の予期しない障害物の傍を通過する時の眼球運動を記録した。実験道路はクレーン車によって遮断されており、運転者は歩道に乗り上げて迂回しなければならない。歩道への乗降は仮橋によってなされ、歩道の左側にあるガレージの壁とクレーン車に触れないよう通過する。注視された対象の時間的推移の分析によれば、直線道路走行、歩道乗り上げ、壁・クレーン間隙通過、歩道降り、道路走行と一連の外界変化と対応してそれぞれの走行に移る前に必要な対象が注視されている。注視対象の中では仮橋が最もよく注視され、次いで歩道、道路、壁、クレーンとなる。実験区間走行の所要時間に個人差がみられたが、これは運転経験によるものではなく平均注視時間に関係した。スピードを出して走行するほど平均注視時間は短くなった。

さらに、実験Ⅱでこの点についての吟味がなされた。同じ被験者が、両側を木立でおおわれた冗長性の大きい（情報内容の少ない）住宅地域の直線道路を走行した結果、車速と平均注視時間にも運転経験とも関係は見いだせず、両実験の比較から、実験Ⅰで得られた車速と平均注視時間の関係は複雑な実験道路によるもので、実験間で個人内平均注視時間に差のないことから、被験者はその異なる情報処理能力を注視時間の変化ではなく車速変化で補償すると結論した。

e）Shinar(1977)[25)]は、カーブを走行している運転者の視覚挙動について研究した。カーブに入る直前及びカーブを通っているとき、運転者は車のすぐ前の道路外側線とずっと前方の道路の端の間をあちこちと注視を移動させる傾向があることを示した。そして、自動車を適切に制御するための運転者にとってのストラテジーは、情報の取得とその情報を使う時間を最大にすることであると結論した。

f）鈴木ら(1966)[29)]は高速道路走行中の運転者の注視点の性質を分析し、建物、森、オーバーブリッジ等道路以外の景観を注視している時間が50%を越え、走行中は視線誘導、位置および方向の確認を道路以外の景観に求める傾向の強いことを示している。注視点分布は水平方向に関しては道路形状によって異なり、曲線部では分散傾向、直線部では集中傾向があり、これらの分布は30度以内に含まれ、その70%は11度の中に分布する。垂直方向では場所によって位置は異なるが集中傾向が強く、20度以内にその90%が含まれる。

ｇ）村田ら(1970)[26]は注視時間分布と平均注視時間から”凝視度”を算出し、注意の集中の度合と眼球運動の関係を示す指標としている。これによれば、運転中の凝視度は、ほとんどの場合１であり、絵画鑑賞、レーダ探索（凝視度８）、テレビ番組（３）と顕著に異なる。ただ運転中でも追い越し車両、標識を見る場合に２以上となることがあり、速度計を見る場合に10にもなり、これらへの注意集中の高さを示している。

ｈ）小林ら(1972)[30]は高速道路工事区間での注視点調査を実施し、設置されている標識類への凝視度を算出しているが、標識の中に凝視度10を持つものがあり「無理のない」注視行動から考えてあまり高い凝視度となる標識はかえって不適切であるとしている。注意の偏りを生じる危険があるといえた。

２．５　まとめ

視覚は人間の知覚の中で、最も重要なものである。視覚に関する研究は、医学・生理学・心理学・物理学・工学の分野に広がっている。解剖学的研究は、臨床医学と生理学に発展した。

眼球の動きの測定とその意味についての研究は、20世紀初頭に生理学の分野で進歩した。半世紀にわたって研究が行われ、眼球運動の定説が固定した。一方、形態知覚と眼の動きについては心理学の分野で研究が20世紀の前半から進められた。形態知覚に関連づけた研究では主として注視対象が何であるか、そのときの眼の動きはどうなっているのか、また注意の度合いはどの程度なのか等について議論されている。

1960年頃から、眼球運動装置の発達に伴い、形態知覚の研究がその対象として映像においても行われるようになり、運転者の視点に関する研究が始まった。海外では、Mourant & Rockwellらが、視野における注視時間の分布、注視対象物と注視時間の関係等の基礎的な研究を行なったのが始めとなり、多くの研究が報告されている。一方、日本でも、村田らが運転者の注視点分布、注視時間分布、注視対象までの距離について分析を行う等、多くの研究が報告された。

このように、注視点の分析により、運転者の視覚による情報摂取パタンの把握が示された。しかし、注視点の解析法やデータ処理法における２次元的な扱い、及び測定データ量において必ずしも十分ではなく、様々な状況の一部を考えた断片的な研究が多かったと言えた。

現在、近年の計測技術と計算機の急速な発達に伴い、従来とは比較にならないほど高性能な眼球運動測定器機が開発されている。運転者の注視行動は、道路環境の整備、運転者教育、自動車の安全性などにとって重要な評価指標であることに変わりはない。むしろ様々な条件や運転者層の拡大にともない、重要性は増してきていると言える。

参 考 文 献

(1) Le Grand,Y.:"History of research on seeing",Handbook of Perception, Vol.5, 1975

(2) Hess,E.H. & Polt,J.M. : " Pupil size as related value of visual stimuli.", Science, No.132, pp.349-350, 1960

(3) Hess,E.H. & Polt,J.M. : "Pupil size in relation to mental activity during simple problem-solving.", Science, No.143, pp.451-455, 1964

(4) Hess,E.H. & Polt,J.M.:"Changes in pupil size as a measure of taste difference.", Percept. Motor Skills, Vol.23, pp.451-455, 1966

(5) Bernick,N. and Oberlander,M : "Effect of verbalization and two different modes of experiencing on pupil size.", Perception and Psychophyics., Vol.3, pp.327-330, 1968

(6) 船津孝行：「心的作業負荷の１指標としての瞳孔反応」、九州大学文学部哲学年報、1969

(7) Aloern,M.:"Movements of the eye.", The eye, Vol.3, pp.3-13, 1962

(8) Yarbus,A.L.:"Eye movements and vision",1967

(9) Whitterridge,D : "Central control of eye movements.", Handbook of physiology", pp.1088-1109, 1960

(10) Ratiff,f. and Riggs,L.A. : "Involuntary motions of the eye during monocular fixation.", J.exp. Psychol., Vol.40, pp.687-701, 1950

(11) Riggs,L.A. et al.:"The disappearance of steadily fixed visual test objects.", J. opt. Soc. Amer., Vol.43, pp.495-501, 1953

(12) Prichard,R.M.:"Visual illusions viewed as stabilizing system.", Quart. J.exp. Psychol., Vol.13, pp.181-183

(13) Javal,L.E.:"Essai sur la phsiologie de la lecture.", Ann. d'oculistique, Vol.82, pp.242-253, 1879

(14) Judd,C.H. :"Photographic records of convergence and divergence.", Psychol. Rev., Monogr. Suppl. 8, pp.370-423, 1907

(15) Adler,F.H. :"The physiology of the eye:Clinical application.",1965

(16) Polyak,S.L.:"The retina.", Univ. of Chicago Press, 1941

(17) 苧坂良二　他：「視聴覚系における情報伝達の研究(9)」、日本心理学会全国大会発表論文集、Vol.26, p.39, 1962

(18) Zusne,L. and Michels,K.M. : " Nonrepresentational shapes and eye movements.", Percept. Motor Skills, Vol.18, pp.11-20, 1964

(19) Gibson,J.J.:"The sense considered as perceptual systems.",Houghton Mifflin, 1966

(20) Gibson,J.J. : " The ecological approach to visual perception.", Houghton Mifflin, 1979, 古崎（訳）、生態学的視覚論、サイエンス社, 1985

(21) T.H.Rockwell, C.Overby, and R.R.Mourant : "Driver's Eye Movements: An Apparatus and Calibration", Highway Research Record, No.247, pp.29-41, 1968

(22) Mourant,R.R.,and Rockwell,T.H. : "Strategies of Visual Search by Novice and Experienced Drivers,HUMAN FACTORS,Vol.14, pp.325-335,1972

(23) Kaluger,N.A. and Smith,G.L. : "Driver eye-movement patterns under conditions of prolonged driving and sleep deprivation", Highway Research Record, No.336, pp.92-106, 1970

(24) Cohen,A.S.: "Augenbewegungen des Autofahrers beim Vorbeifahrer an unvorheresehbaren Hinder-nissen und auf freier Strecke", Zeitschrift fur Verkehrssicherheit,Vol.22,No.2,1976

(25) Shinar,D.,et al : "Eye Movements in Curve Negotiations.", HUMAN FACTORS, Vol.19,1977

(26) 村田隆裕、中村良夫：「自動車運転者の注視点」、交通工学、Vol.5、1970

(27) 村田隆裕：「注視行動の統計的性質」、土木学会論文報告集, Vol.213,pp.55-63,1973

(28) Nagayama,Y. et al.:"Motorcyclists' visual scanning pattern in comparison with automobile drivers.", SAE Paper No.790262, 1979

(29) 鈴木忠義、中村良夫、村田隆裕、小笠原常資：「運転者の注視点の性質」、高速道路と自動車、1966

(30) 小林実、村田隆裕、巻上安爾：「高速道路工事区間での注視点調査」、交通工学,Vol.7, 1972

第３章　眼球運動の測定手法

３．１　概　説

視線の動き、すなわち眼球運動に関する研究の歴史は古く、その分野も、医学、生理学、心理学から工学にまで及んでいることは第２章で述べた。それらは、眼球運動の速度や種類を扱ったもの[1)]、提示された指標に対して誘発される眼球運動やそのときの見え方を論じたもの[2)-6)]、指標と眼球運動との関係を神経生理学的に調べたもの[7)]等、多岐にわたっている。

このように多方面で眼の動きが用いられる理由は、眼は大きな情報量を含んでいるからである。しかも、観察者が意図的に視線を動かして視線の移動速度や注視時間を変化させることはほとんど不可能に近く、心理効果の評価や検証に有効であるからである。

しかし、これらの研究を更に進めるためには、眼球運動を容易に測定できる手法が必要である。既往の研究においても、眼球運動の測定手法の発展により応用範囲が広まり研究が発展してきている。本研究では、最新鋭の眼球運動測定装置である"Vision Analyzer"を用いた。眼球の動きを正確に捉えるセンサーと、測定後のデータ処理が格段に進歩した装置である。

本章では、眼球運動の測定手法について紹介し、"Vision Analyzer"の原理と利点について説明する。次に、眼球運動の随従運動成分の測定から人間の情報受容に適合した注視成分を定義する。この研究結果は、第８章と第９章で人間の情報処理について検討する場合に応用した。最後に、"Vision Analyzer"を発展させた眼球運動装置であるトーク・アイについて説明する。

３．２　眼球運動の検出法

眼球運動の検出法としては、実際に被験者の眼球の動きを観察する方法と、電気信号あるいは光のスポットに変換して検出する方法がある。ここでは後者について、その主な手法を紹介する。

３．２．１　EOG(Electro-Oculogram)法

眼球中の角膜部は図3-1に示すように、網膜側に対して10-30μＶの正の電位を有している。この電位は目が全く動かない静止時でも存在し、この性質を利用し

て眼球の動きを求めることができる。水平方向の眼球運動の検出には、両眼の左右の外側の皮膚に電極を装着する。角膜は正の電位をもつので、視線が左をむくと左側の電極の電位が、右を向くと右側の電極の電位が上昇する。上下方向の眼球運動の検出は、同様に目の上下の皮膚上に電極を装着することにより求めることができる。

ＥＯＧ方式の利点としては、睡眠中など閉眼時の視線の動きが測定できること、目に直接光を当てたりセンサーを装着したりする必要がないので長時間の測定ができることがあげられる。

その反面、まばたきによっても大きな電位の変化を示す。微小電圧を増幅するので電源ハムによるノイズの影響を受けやすく、シールドルームでの実験が望ましいなどの制限が生じる[8]。

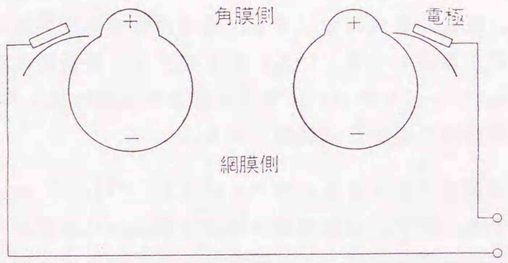


図3-1　ＥＯＧ法による検出[8]

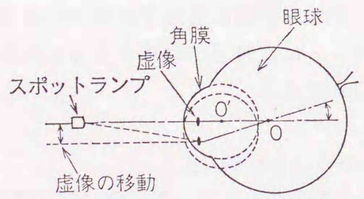


図3-2　角膜反射法の検出原理[9]

3．2．2　角膜反射法

図3-2に示すように、角膜の曲率中心と眼球の回転中心が異なるため、スポットライトを眼球に入射するとその虚像が角膜内部に生じる。この虚像は、眼球が動くと相対的に移動し、この像をホトセルやテレビカメラ上に結像させることにより眼球の動きを検出することができる[9]。角膜反射方式は、いわば目を直接テレビカメラで撮影する方式である。

被験者に装着し調整する際にも、基本的には反射光がカメラの画角内に入ればよく、容易である。測定範囲も、水平方向で最大60度の眼球回転角が検出できるなど広い。しかも、光源は赤外光が用いられており、被験者には見えず、負担とはならない。ただし、被験者の歩行中の視線の動きなどの測定の際には、角膜を撮影するカメラ自体も同時に移動させねばならず、小型化に配慮する必要がある。この点についてはＤＣ駆動のポータブルタイプが市販されている[10]。精度は、撮像素子の解像度に依存するが、据置型で眼球回転角にして30秒以下のものも発表されている[11]。

3．2．3　角膜と強膜の反射率の違いを利用する強膜反射方式

この方式は目に赤外光を照射し、その反射光量が、白目部分と黒目部分とで異なることを利用して検出するものである[12)-13)]。水平方向の動きは、二つのホトダイオードと発光ダイオードだけであり、眼鏡フレームに簡単に取り付けられ、小型、軽量なことである。また、分解能は、角膜反射方式では撮像素子により制

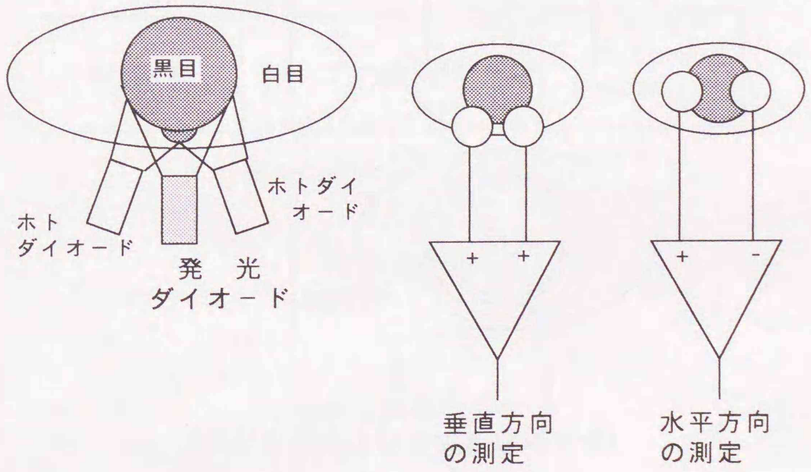


図3-3　強膜反射方式の検出法[12)-13)]

限されるが、強膜反射方式は光量の変化をアナログ的にとらえているので、極めて高くとることができる。

一方、検出範囲は、両側のホトダイオードの間に黒目がある範囲内に限定されるため比較的狭い。また、ホトダイオードの光は赤外光で見えないので装着の際に若干のコツが必要である。高齢者など、目の上下方向の動きに対して眼けんの動きが小さくなることがあり、このような被験者では、ホトダイオードの上下の出力は小さくなり注意が必要である。

3．2．4　磁気誘導による方法

磁場の中にコイルを置き回転させると、磁気誘導により電位を生じる。この原理を用い、もっとも精度よく検出できる方法の一つである[14]。図3-4に示すようにコンタクトレンズに1～2ターンのコイルを埋め込み被験者に装着する。被験者を交流磁場の中に置くと、眼球の回転角のsinに比例して電圧が誘起される。20度までは直線性よく検出でき、それ以上の角度では較正回路を用いる[15]。

水平方向と別の周波数の垂直磁界をかけることにより垂直方向の眼球運動の検出も容易である。この方式の特徴として、他の方式では難しいねじれ方向の検出も原理的には可能である。

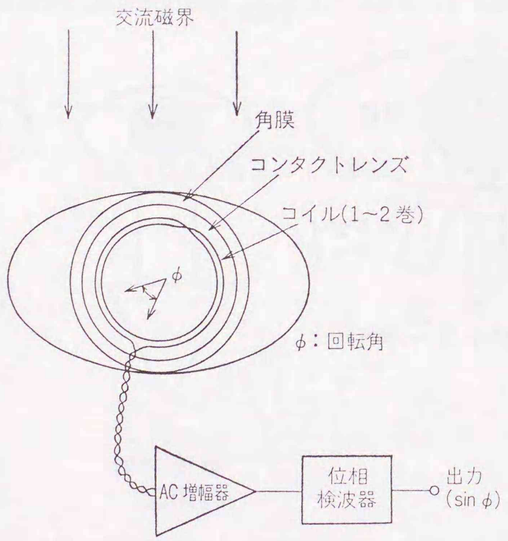


図3-4　磁気誘導による検出法[14]

3．3　"Vision Analyzer"

近年の小型電子計算機（パソコン）の急速な発達により、眼球運動を比較的簡単に測定し、その結果をリアルタイム処理することも可能な装置が開発されつつある。ここで紹介する"Vision Analyzer"もその一つである。光学的方法による眼球運動測定装置であり、注視点分布・運動ベクトル分布などの眼球運動を単純に表現する統計処理が即時に行える。図3-5は測定装置のシステム構成である。なお、"Vision Analyzer"はNHK放送技術研究所で開発されたものである[16-19]。

本装置の機能を表3-1に、眼球運動検出部の特性を表3-2に示す。眼球運動情報の抽出に本装置ではフォトトランジスタと発光ダイオードを一列に並べて差動検出する方式を用いた。検出部から得られた眼球運動の水平及び垂直位置情報は、

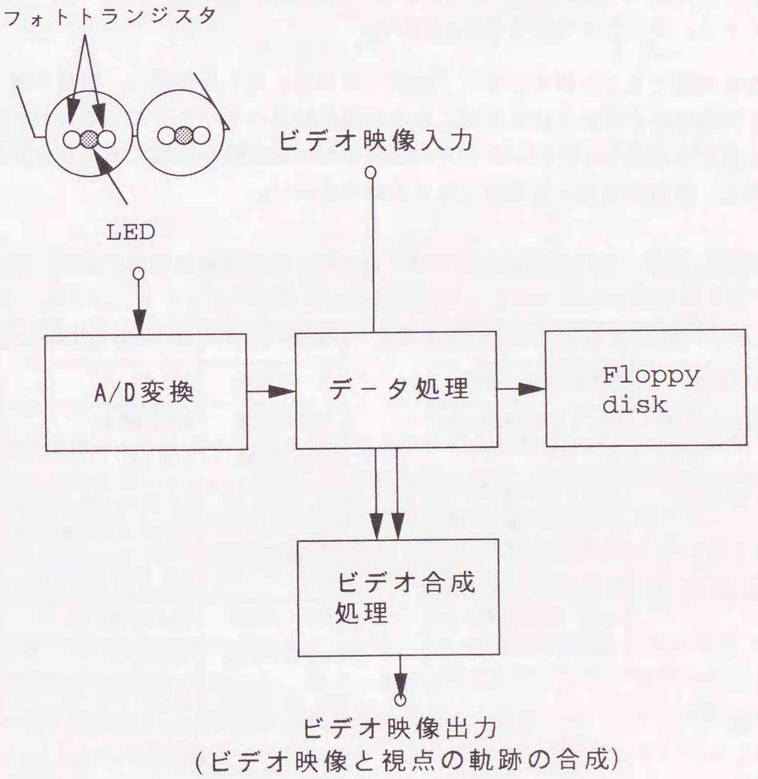


図3-5　"Vision Analyzer"の構成[16)-18)]

図3-5に示す処理部に取り込まれる。運動中は速度を、固視しているときは停留時間をリアルタイムに計算する。速度は軌跡上に色分けして、被験者の見ている画面に直接合成表示される。合成された映像は、そのままビデオレコーダに収録することができる。一方、視点の位置は計算機のフロッピディスクに記録される。

サンプリング周期は、実験の目的に合わせて、最低0.5msから任意の間隔を指定できる。最大32,400点まで連続して測定可能である。従って測定時間はサンプリング周期とこの容量により決定される。例えば、50ms単位でサンプルする場合、最長27分間測定可能である。

3．3．1　検出部

2個の受光素子と中央に発光素子を配置し、眼球に対し赤外光を投射、その反射光を検出（図3-6）、左目で水平方向・右目で垂直方向の注視点の位置情報をアナログ出力する。検出部の特性を表3-2に示す。

検出部は軽量であり形状も小さく、被験者の視野に対する影響は、眼鏡を掛けた場合と同程度の影響が見込まれる。検出装置が軽量コンパクトであるため、通常に近い運転が可能であり、いろいろな状況における試験が可能である利点がある。ただし、眼鏡使用者の試験を行うことはできない。

表3-1　"Vision Analyzer"の機能[16)-18)]

ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ時間	0.5ms以上任意設定
ｻﾝﾌﾟﾙ数	最大連続32,400点
ﾘｱﾙﾀｲﾑ処理	ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ間隔10ms以上で可
ｽｰﾊﾟｰ機能	速度・注視時間を任意の段階にわけ７色まで色分け表示
統計処理	注視点分布・ﾍﾞｸﾄﾙ分布・速度分布・注視時間分布など

表3-2　眼球運動検出部の特性[16)-18)]

検出方式	赤外反射光量検出
ピーク波長	940 nm
光放射強度	0.56 mW/sr
変調周波数	1.4 kHz
検出角度	X方向 ±20deg以内 Y方向 ±20deg以内
利得	LOW-HIGH２段切替
ｸﾛｽﾄｰｸ補償	約±100%可変
ﾘﾆｱﾘﾃｨｰ補償	４乗特性
出力電圧	最大±５V

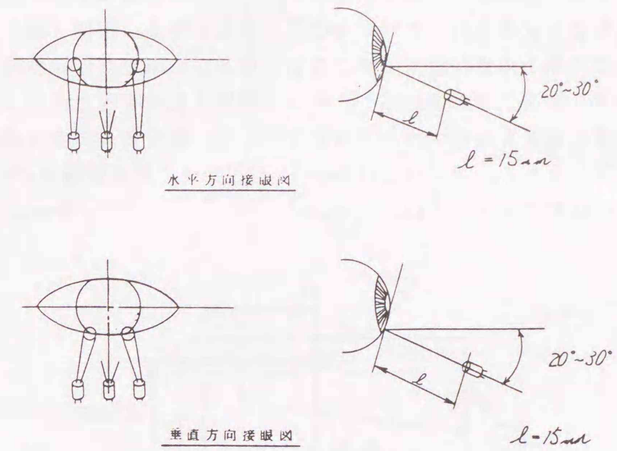


図3-6　"Vision Analyzer"の眼球運動検出部[16)-18)]

3．3．2　処理部

図3-6の検出部からの信号をデジタル化し、視点の移動速度・位置・停留時間を直ちに計算し、フロッピ・ディスクに記録する。また、視点の軌跡は速度により色分けして、被験者の見ている画面に直接スーパー・インポーズされる。

3．3．3　初期設定

眼球運動による視点の軌跡を測定する際の最も重要なポイントは、被験者への装着と初期設定である。これにより測定結果の精度と信頼度が決定すると言っても過言ではない。"Vision Analyzer"の初期設定は、任意の平面に投射される被験者の視覚による視点を計算機内の座標（モニター画面上の点）に変換する係数を決定するために行われる。

具体的には、被験者の正面に上下左右に4点の指標を設定した平板を置き、それらを被験者に注視してもらい、視点の測定結果と計算内のマークを一致させることによりなされる。試験者が、初期設定を手早く正確に行うにはある程度熟練を要する。また、被験者のまつげの長さ・下まぶたの形・眼球の形状により測定できない場合もある。

被験者の眼の位置から前方の真正面に、被験者と向き合う平面を想定する。その平面の原点は、被験者の両眼の中心を平行移動した位置とする。即ち、被験者が運転姿勢をとり正面を向いた時の中心点が原点となる。指標（図3-7）を原点から上下左右の平面上の点に設定する。この指標並びに原点を被験者に注視してもらい、モニターに表示されるプログラム上で設定された平面上の原点・指標と一致するよう検出装置を設定する。この設定の結果、被験者の視点位置が瞬時に計算機により算出される。視点がこれらの4点を囲む長方形の範囲外に位置した場合、算出された座標値は誤差を含む。

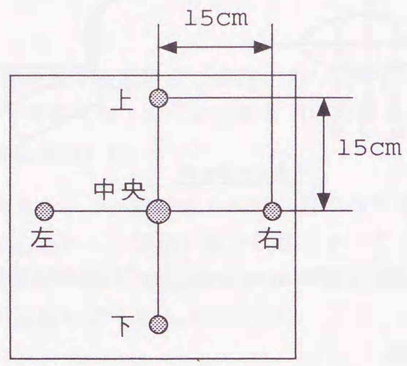


図3-7　初期設定用の指標ボード[16)-18)]

3．4　"Vision Analyzer"を用いた注視点の定義

注視点は視線の動きの中で、視対象から情報を受容するための成分である。しかし、第２章で述べたように、この定義は研究により様々である[20)-23)]。そこで、本研究では、動物体を追従する眼球運動から注視点を定義した。

注視点の定義の中に固視微動の速度成分を含めるのは当然のことであるが、微小な随従運動成分も含めた。これは、随従運動が、運動中に視覚特性の低下する跳躍運動と異なり、運動視標の情報をより良くとらえるための眼球運動と考えられるからである。したがって、随従運動を含む眼球運動の角速度を基準に考え、その所定の速度より遅いものの中から注視成分と想定されるものを求め注視点とすることにした。

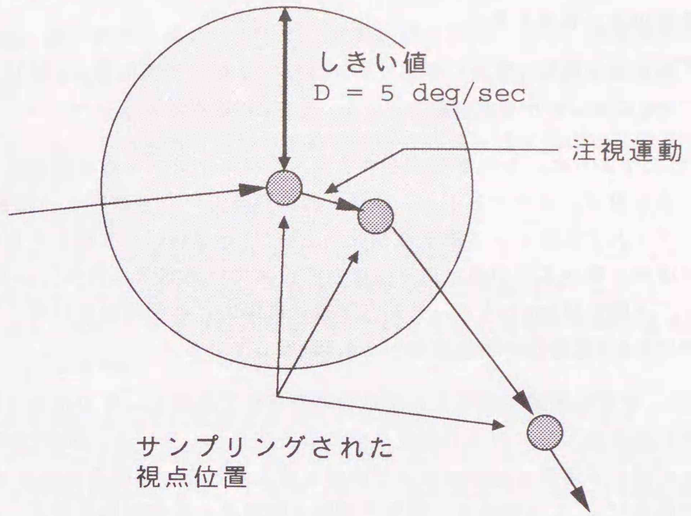


図3-8　注視点の定義[19)]

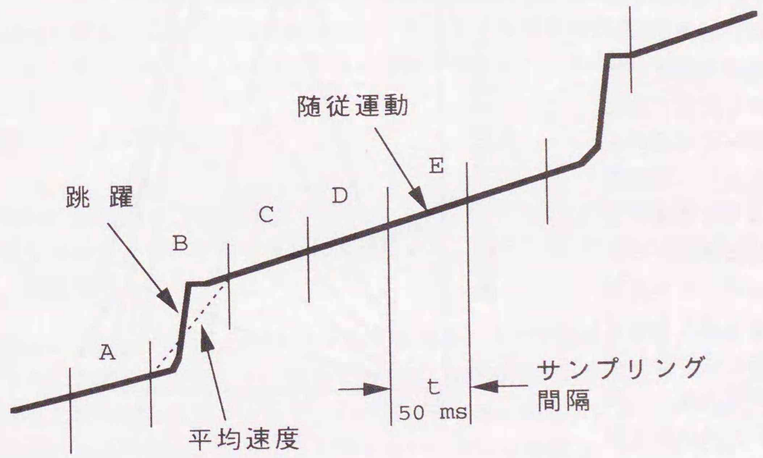


図3-9　眼球運動速度の測定[19)]

その所定の速度をしきい速度Ｖthと呼ぶこととし、図3-8に示すように注視点を定義する。すなわち、ある注視点からＶthの速さで次のサンプル点に到達する距離Ｄthを次のように定める。

$$Dth = Vth \times Ts \qquad (3\text{-}1)$$

Ts：サンプリング周期

図3-8に示すように、Ｄthを半径とする円内に次のサンプル点が存在するときには、現在の注視点に含まれるとし、半径の外に存在したときは新しい注視点とする。サンプリング間隔として跳躍運動の不応期(150-160ms)より長くすると、いったん跳躍運動で動いて元の点に戻って来たものまで注視成分に含んでしまう可能性があり、上限を150msとする。また、下限は理論的には制限はないが、本システムでは用いたA/D変換器の精度限界から0.5msとしている。

図3-9は、視標を視線が追従した場合の応答特性を記録し、その中から随従運動成分だけを抜き出してその平均速度を求める方法を示している。図3-10は、この方法により振り子運動の周波数および振幅を変えたときの随従運動成分の平均速度分布である[12]。この実験は、振り子運動の周波数および振幅を変えたときの随従運動成分の平均速
度分布である。

これらの図から随従運動の平均速度はピーク時間を持つ分布となることがわかる。視標の速度が増加すると次第に随従運動のみでは追いきれなくなり、跳躍運動によって追従できない分を補正するようになる。この速度がさらに速くなると最終的にはほとんど跳躍運動となり、随従運動で追うのは振り子の運動の開始時

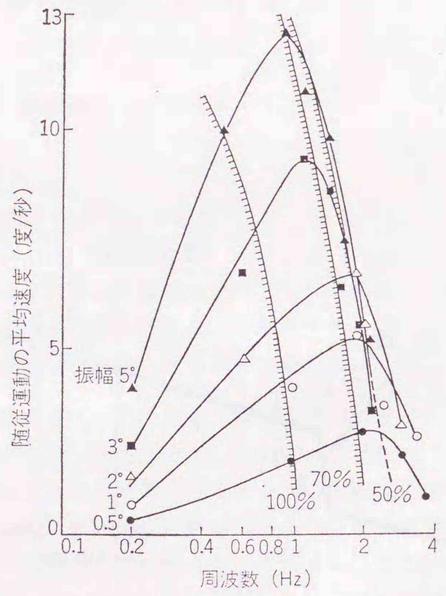


図3-10　随従運動の平均速度分布[19]

や終了時の視標の速度が遅いときに限られてくるので、随従運動の平均速度はむしろ遅くなる。

その結果、図3-10に示すようにそれぞれの視標の振幅ごとに、随従運動で最もよく追従する周波数が測定される。斜線で示す領域は視標の速度と随従運動速度がほぼ100%一致する領域および70%以上、もしくは50%以上一致し随従運動が追従する領域を示す。この図から視標の振幅が大きくなると比較的速い速度まで追従できることが分かる。

しかし、これは振幅が3degを越えるような動きを1sec以上追従して初めて可能となるものであり、実験室内ではありうるが一般画像においてはほとんどないと考えられる。このことから注視点の定義に含める随従運動成分としては、せいぜい振幅2degまでのデータを用いればよい。このとき随従運動の平均速度はピークで約7deg/secとなる。

その中で注視点としては視標に遅れながら追従している成分ではなく、視標の動きと視線がほぼ100%一致しているものを考える必要がある。その速度は振幅が2degのとき約5deg/secである。したがって、しきい速度Ｖthとして5deg/secと定義することとした。

このＶthを用いることにより、随従運動成分の中で視標の動きと視線が１：１に対応している成分だけを注視点とすることが可能になった。この値は個人差は若干あるがほぼ等しいと見て差し支えない。

また、このデータは、視標と視線の位置の差を網膜上位置誤差と定義し、誤差が0.5degを越えたときに跳躍運動が生じ、そのときの視標の速度は5deg/sec平均であることを示したH.Collewijn[24]らの実験結果とよく一致している。

３．５　トーク・アイ

"Vision Analyzer"は、本論文で行った全ての実験で用いた。第４章では初期型のものを運転者の眼球運動の測定に直接用いた。第５，６，７章と実験を行うたびに、改良を加えていった。

しかし、"Vision Analyzer"も多方面で応用されるにつれてその弱点が浮き上がってきた。初期設定が難しく、慣れても5分以上の時間がかかる。センサー部の重量があり、被験者の負担が大きい。目の前にセンサーがあり、事故が発生したときに非常に危険である。このような問題のいくつかを改善し、新たな機能を搭載したシステムとしてトーク・アイがNHK技術研究所により開発された[25]。昨年度

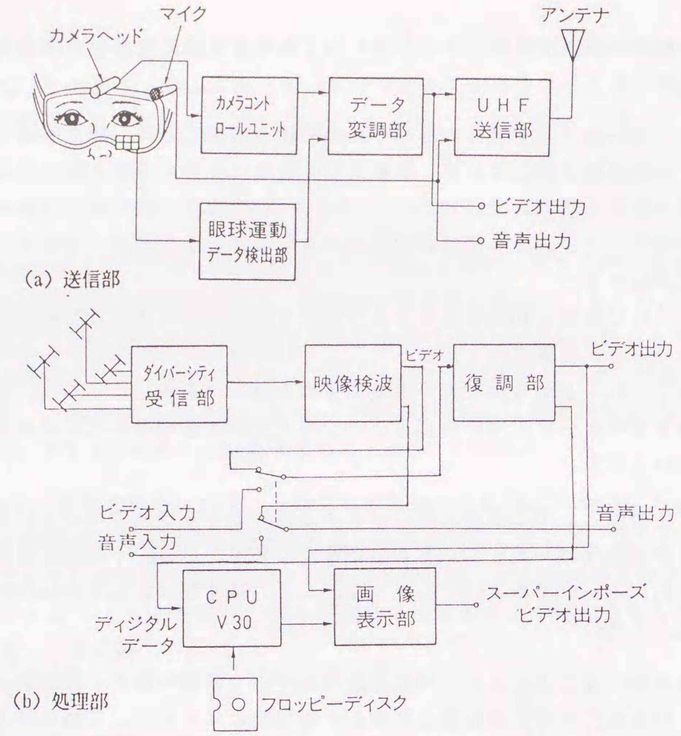


図3-11　トーク・アイの構成

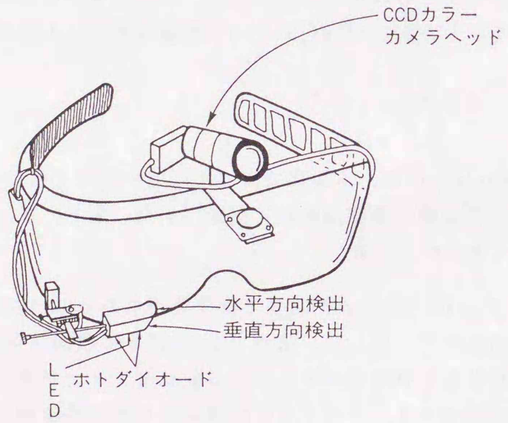


図3-12　眼球運動検出センサ[25]

からの実験には、このトーク・アイを運転者の視点の測定に用いている。

トーク・アイの特徴は、眼球運動検出部を小型軽量化して、被験者の負担を軽減した。眼鏡使用時の測定が可能になった。自動較正機能を加え、1分程度の時間で較正ができるようになったなどである。

3．5．1　トーク・アイの構成

トーク・アイは2つの部分に分けられる。1つは被験者に装着し、主に視線の動きを検出し伝送する部分であり、もう1つは視線の動きのデータを分析、処理し画像を表示する部分である。図3-11にトーク・アイの構成を示す。

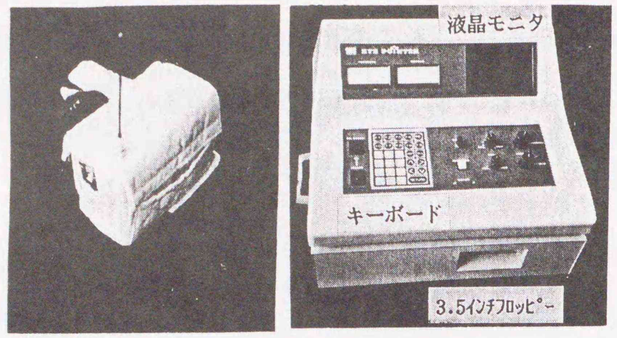
眼球運動検出センサは、図3-12に示す透明なゴーグル上に取り付けられている。"Vision Analyzer"では、両眼にセンサがあったが、片方のセンサだけでよくなり、広い視野を確保でき、重量も従来の半分にすることができた。また、この検出部をゴーグルの外側に取り付けた事により、眼鏡の上からも装着できるようになった。

表3-3　送信部の仕様[25]

眼球運動	検出方式	強膜反射方式
	検出範囲	水平±30°　垂直±20°
	データ精度	水平・垂直各10bit
	データ送出	垂直帰線期間多重
視野カメラの特性		1/2CCDカラー単板 解像度330本
送信周波数		UHF帯470～800MHz
送信出力		電波法　微弱電波規制内
アンテナ		λ/4ヘリカル（約17cm）
出力系統		映像・音声各1系統
重量	ゴーグル部	200g
	送信機	1200g（ﾊﾞｯﾃﾘｰ含）
大きさ（送信機）		18^{W}×16^{H}×8^{D}（cm）
電源		DC12V（ﾊﾞｯﾃﾘｰで連続1時間）

表3-4　処理部の仕様[25]

受信部		最大4ﾁｬﾝﾈﾙﾀﾞｲﾊﾞｰｼﾃｨ
CPU		V30　16bit
表示部		5ｲﾝﾁ液晶ｶﾗｰﾓﾆﾀ
サンプリング		33.3ms(1ﾌﾚｰﾑ)
処理機能	画像	注視時間と速度の計算と表示
	統計	注視点分布、速度分布など
大きさ(cm)		43^{W}×30^{H}×37^{D}
重量（kg）		約17
電源		AC100V/DC12V(5A)



(a) 送信部　　(b) 処理部

図3-13　送信部と処理部[25)]

送信部と処理部の仕様を表3-3と表3-4に示す。送信部と処理部の外観を図3-13に示す。このように送信部はコンパクトであり、被験者が背負っても負担は軽い。処理部は一体化設計されており、この中にCPU部と映像出力を再現する5インチ液晶モニタも組み込まれている。したがって、持ち運びも容易でセッティングも簡単である。また、全システムが12vDC駆動可能であり、100Vが得られない場所での使用が可能である。

3．5．2　初期設定の自動化

通常、最も簡単な初期設定の方法は、指標ボードを被験者に見せ、中央・上下・左右の5点が一致すように較正を行う。較正の際には、ゼロ点の補正や各象限のゲイン、リニアリティ補正ならびに強膜反射法で生じる水平及び垂直移動成分間のクロストークの除去を、赤外光源の位置の機械的調整と電気的な補正を組み合わせて行う。

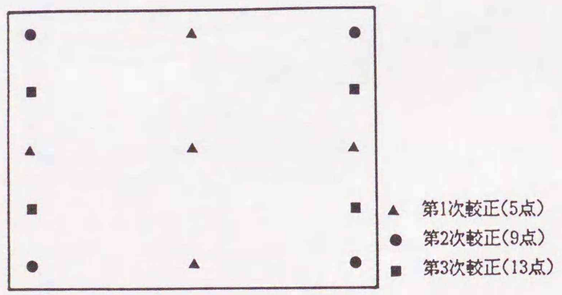


図3-14　較正用ボード[25)]

"Vision Analyzer"では被験者1人あたり5-10分の較正時間を必要としていたが、トーク・アイでは1分程度で行うことができる。あらかじめ決められた点を被験者に注視させ、そのときの眼球位置データをもとに演算し較正を行う。

第1次較正は図3-14の△印の5点の発光ダイオードを順次点灯させる5点較正法である。この較正でリニアリティ歪とクロストーク歪を除去できる。第2次較正は、さらに4隅の○印の4点の発光ダイオードを点灯させる9点較正法である。この較正では第1次較正に加え、台形歪の除去が行える。第3次較正では、□印の4点を加え、13点で行い、これらに加えU字歪の除去をも対象とする。

3．6　まとめ

本章では、本研究で用いた最新鋭の眼球運動測定装置"Vision Analyzer"について述べた。従来の同様な装置に比べて以下のような特徴があった。

・視点の軌跡とビデオ映像の合成。
・眼球運動の測定データのリアルタイム処理。
・装置の小型化・軽量化による被験者の負担の軽減。

また、"Vision Analyzer"を発展させたトーク・アイについても簡単に紹介した。眼鏡使用時の測定が可能になり、自動較正機能により1分程度の時間で較正ができるようになった。

一方、"Vision Analyzer"を用いて運動物体の追従視覚特性から注視点の定義を再考した。その結果、5deg/secを注視点を定義する眼球運動角速度のしきい値とした。

眼球運動の測定と視覚的な認知の問題については、科学技術の進歩と同調している。本章で示した測定手法をもってしても、あらゆる場合に容易に視点を測定できるわけではない。測定器具と被験者のサイズの問題、測定装置の扱いの習熟度の問題等がある。

参 考 文 献

(1)　宮川洋、渡部叡：　「画像エレクトロニクスの基礎」、コロナ社、pp/105-109、1975

(2)　L.R.Young and L.Stark : "Variable Feedback Experiments Testing a Sampled Data Model for Eye Tracking Movements",IEEE Trans., Human Factor in Electronics, Vol.HFE-4, No.1, pp.38-51, 1963

(3)　L.Stark, G.Vossius and L.R.Young : "Predictive Control of Eye Tracking Movements", IEEE Trans., Human Factor in Electronics, Vol.HFE-3, No.2, pp.52-57, 1962

(4)　N.Sugie: "A Model of Predictive Control in Visual Target Tracking", IEEE Trans., Systems, Man and Cybernetics, Vol.SMC-1, pp.2-7, 1971

(5)　F.C.Volkmann, A.M.L.Schick and L.A.Riggs : "Time Course of Visual Inhibition During Voluntary Saccades", J.Opt.Soc.Am., Vol.58, No.4, pp.562-569, 1968

(6)　D.F.Fisher, R.A.Monty and J.Senders : "Eye Movements: Cognition and Visual Perception", Lawrence Erlaum Associates Pub., New Jersy, 1981

(7)　R.Johnleigh and D.Zee :"The Neurology of Eye Movements", F.A.Davis Company, Philadelphia, 1984

(8)　和田陽平、大山正、今井省吾編：「感覚・知覚心理学ハンドブック」、誠信書房、pp.496-500, 1979

(9)　Young L. and Sheena D. :"Survey of Eye Movement Recording Methods" Behav. Res. Meth. Instum., Vol.7, pp.397-429, 1975

(10)　熊谷：「視覚情報収集における眼球運動の役割」、昭和62信学連合大会、21-3

(11)　M.Eizeman, R.C.Frecker and P.E.Hallent : Precise Non-Contacting Measurement of Eye Movement Using the Corneal Reflex, Vision Res.,Vol.24, No.2, pp.167-174, 1984

(12)渡部叡：「眼球運動の制御機構」、NHK技術研究,Vol.18,NO.2, pp.20-42, 1966

(13)　山田光穂、福田忠彦：「画像における注視点の定義と画像分析への応用」、信学論誌、Vol.J69-D, No.9, pp.1335-1342, 1986

(14)　Robinson D.A. :"A Method of Measuring Eye Movement Using a Scleral Coil in Magnetic Field, IEEE Trans., Bio-med. Electron., Vol.BME-10,No.4, pp.137-145, 1963

(15)　H.Collewijn, F.Vandermark and T.C.Jansen:"Precise Recording Human Eye Movements", Vision Res., Vol.15, pp.447-450, 1975

(16)　福田忠彦、山田光穂：「新しい注視点情報解析装置とその放送への応用」、人間工学全国大会、Vol.20, pp.52-53, 1984

(17)　山田光穂、福田忠彦：「視線の動きを用いたテレビ画像の分析」、テレビ誌、 Vol.40, No.2, pp.121-128,1986

(18)　M.Yamada and T.Fukuda : "Quantitative Evaluation of Eye Movements as Judged by Sight-Line Displacements", S.M.P.T.E.Journal, Vol.95, No.12, pp.1230-1241, 1986

(19)　山田光穂、福田忠彦：「視線情報を用いた画像の客観分析」、NHK技研R&D, No.2,1988

(20)　Thinker,M.A.:"Time taken by movements in reading",J.genet.Psychol., Vol.48, pp.468-471, 1936

(21)　Alpern,M.:"Movements of eye", The eye, Vol.3, Academic Press, pp.3-13, 1962

(22)　Robinson,D.A. : " The mechnics of human saccadic eye movements",J. Physiol, Vol.174, PP.245-264, 1964

(23)　Yabus,A.L.:"Eye movements and vision", Plesman Press, 1967

(24)　H.Collewijn and E.P. Tamminga : "Human Smooth and Saccadic Eye Movements During Voluntary Pursuit of Different Target Motions on Diffrent Backgrounds", J.Physiol, No.351, pp.217-250, 1984

(25) 山田光穂、福田忠彦、広田光雄：「新しい視線情報装置の開発と放送への応用」、テレビジョン学会技術報告、VOl.12, No.38, PP.31-36, 1988

4章　新しい眼球運動測定装置"Vision Analyzer"による運転者の視点測定

4．1　概　説

本章では、初めて"Vision Analyzer"を用いて運転者の視点を測定した結果について述べる。視点の測定は、信号交差点を多数含む札幌市内中心部の路線と、曲線半径の小さいカーブが連続する郊外の路線で行った。視点と道路条件の関係について定性的な検討を行った。また、交通工学的な観点から測定装置システム全体の有用性及び問題点についても検討した。

視点のリアルタイム処理ができるようになったこと、測定装置が被験者の視野へ与える影響が少なく実験条件が拘束されないこと等の長所は、従来の同様のシステムに比べて格段の進歩が認められた。

4．2　運転者の視点の測定

運転者の眼球運動の測定には、第３章で示したNHK放送技術研究所で1980年代に開発された"Vision Analyzer"を用いた[1)-3)]。図4-1に検出部の概観を示す。眼球運動をリアルタイムに処理し、被験者が観察しているシーンに視点を直接重ね合わせる装置として開発された。

4．2．1　アイカメラによる運転者の視点の測定

自動車運転中の視線の動きの解析には、ナック社製のアイカメラが用いられてきた。図4-2に装置の概観を示す。角膜反射を利用して、眼球運動を検出する装置である。この方法によれば、水平・垂直方向に、それぞれ±20deg程度の範囲で検出系の入出力関係に直線性が成り立つ。眼球運動をアイマークの2次元的映像としてとらえ、背景視野と視点とを重ね合わせることができる。

アイカメラによる運転者の視点に関する研究は、第２章にまとめた。1960年代にアイカメラが開発されてから米国で研究が開始された。その後、日本でも多くの研究者により研究が行なわれ成果が発表されている。これらの研究は、土木工学[4)-7)]・人間工学[8)-15)]・自動車工学[16)-19)]の３つの分野で進められた。

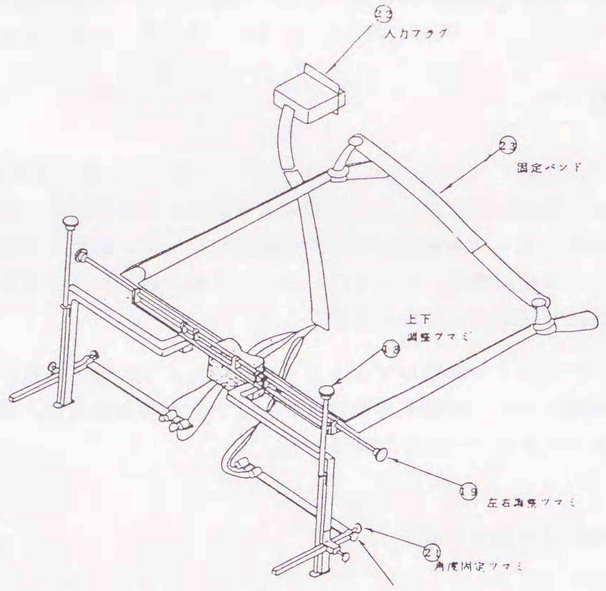


図4.1 "Vision Analyzer"の眼球運動検出部

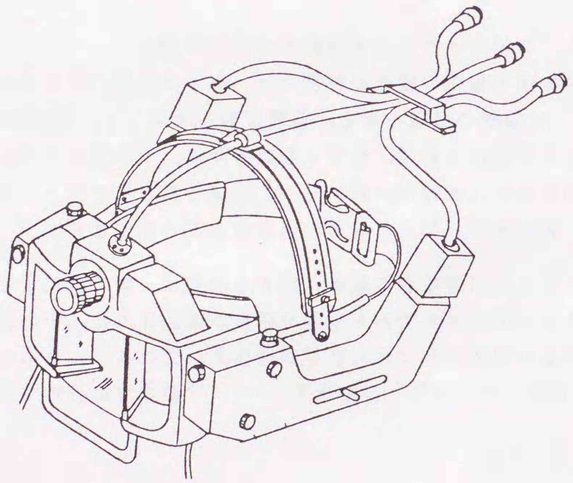


図4.2 角膜反射法によるアイマーク・レコーダの検出部

しかし、アイカメラによる視点の測定には問題点も多かったと言える。初期のアイカメラでは、視点は映像フィルムにスーパーインポーズされた。このシステムは、1960年以前の眼球運動測定システムと比べて画期的なものであったが、視点位置を解析するときにフィルムを1コマずつ解析しなければならなかった。運転者の視点の解析のように、数分間の測定を行う場合において、視点の位置を求めるときに膨大な時間が必要であった。

また、眼球運動の測定手法から検出部が重く大きなものであった。室内実験のような場合にはそれほど問題ではなかったが、車両のように狭い空間でしかも視野を阻害するような検出部には問題が多かった。実験条件の選択が狭まったり、被験者の心理状態に悪影響を及ぼしたりした。

これらの欠点については、実際にアイカメラ（モデルV）を用いた実験からも確認した[20)-21)]。実験は、運転者の視点を測定するための基礎的なデータ収集を目的として行った。アイカメラは室蘭工業大学からお借りした。最も大きな問題は、検出部の大きさにあった。大きくて重いために初期設定をしても運転者が少し激しく動くとずれが発生した。

4．2．2 "Vision Analyzer"による運転者の視点の測定

アイカメラは自動的な視点位置解析システムが付属する等してデータ処理については改良されてきている。しかし、検出部に関しては従来のものと現在もさして変わっていない。本章で用いた"Vision Analyzer"はアイカメラと比較して以下のような特徴がある。

a）運転者に装着される装置が比較的軽く、運転者の動作やその視野に与える影響が小さい。そのため普段に近い運転の再現が期待できる。同時に、運転への影響が少ないため実験時の安全性が高まり、実験地域や実験条件の選択が拘束されない。

b）測定された運転者の視点は、軌跡の形で視野映像に合成され、ビデオ・レコーダに記録される。実験後直ちに再生して視点の動きを検討することができる。一方、眼球運動の測定値は解析装置内の大容量メモリに記録され、長時間にわたる大量のデータを扱うことができる。これにより、注視点分布・速度分布・運動ベクトル分布などの統計処理が即時に行える。

本章の実験は"Vision Analyzer"を開発したNHK技術研究所と共同で行ったものであり、使用した"Vision Analyzer"は開発途中のものである。第5章以降で用いたものとは若干仕様が異なっている。

4．3　"Vision Analyzer"を用いた実車による視点測定実験

実車による測定実験は、信号交差点を多数含む札幌市内中心部の路線と曲線半径の小さいカーブが連続する郊外の路線で行った。測定区間を同一の被験者に数回走行してもらいデータを収集した[22)-23)]。

被験者は、10名用意した。眼鏡使用者は測定装置の装着ができないため（コンタクトは可）、被験者には視力が左右とも裸眼で1.0以上の人を集めた。年齢・性別・運転経験の組み合わせは、様々であった。また、平常の運転行動を再現してもらうため、実験の目的については被験者に知らせていない。

4．4　街路における視点の測定と分析結果

4．4．1　街路における視点測定の目的

街路を走行している運転者の視点を測定する目的を以下に示す。

a）視覚情報が過剰に存在する街路において、運転者が重要であると判断して見ているものは何であるのか。

b）事故件数全体の約1/3を占める追突事故は、主に市街地において発生している。先行車に追従しながら運転を行っている時の見方を検討する。

c）運転条件の厳しい街路に多数設置されている標識を運転者はどの程度見ているのか。また、街路における多数の交通標識の位置が適当であるかどうか検討する。

4．4．2　街路における視点測定実験

測定対象路線は、札幌市内のメイン・ストリートである南5条西4丁目から南2条西4丁目間の駅前通りとした。実験を行った区間の道路環境について簡単に説明する。片側3車線の国道であり、右側には街路樹の植えてある中央分離帯、左側は人通りの多い歩道とビル街になっている。外側車線は、ほぼ常時停車・駐車している車両がある。ビルの屋上には目につきやすい大きな派手な広告が多い。図4-3に簡易な地図を示す。

実験は，平日の午前と午後の昼間に行った。天候は、くもり時々雨であった。なお、実験車は主に3車線のうちの中央車線を走行した。

4．4．3　街路における視点測定結果

測定実験から、運転者から見た視野映像に視点の軌跡を重ね合わせた映像を得れる。ここでは、この映像から被験者の見方について分析した。始めに、先行車に追従しているときの視点と映像の関係を図面にした結果を示す。次に、測定された映像から被験者の見方の特徴について分析した結果を示す。

図4-3に、視点を運転者から見た映像にプロットした結果を示す。先行車に追従しているときの視点位置が、先行車の車種によりどのように変化するのかを探った。測定区間を４つに分割し、それぞれの区間での視点位置をプロットした。

図4-3の(1)は、先行車が乗用車であるときの視点を示した。先行車との車間距離が非常に近い状況である。運転者の視点は、信号以外の回りの状況にあまり左右されずほとんど先行車のリヤウインドウあるいはブレーキランプを見ていた。

一方、図4-3の(2)は、先行車が大型車両であるときの視点を示した。視点は先行車と左の駐車車両の間に集中する傾向を示した。(1)と比べて、運転者の見ている視点位置の違いを容易に読み取ることができる。

図4-3の(2)の視点位置が左に集中した原因は、先行車が大型車であったからであろう。先行車が小型車であれば信号機を遠くから直接見ることができ、前方を先行車のウインドウを通して見れる。しかし、先行車が大型の場合、前方の情報は先行車の動きのみになり、しかも信号が運転者から見えない。そのため、(2)の視点が示すところから前方の情報を少しでも早く得ようとしていたものと思える。

次に、以上と同様な手法により被験者の街路における視点の動きの特徴を測定した映像から分析した。その結果をまとめる。

a）実験車より前の車両及び歩行者の挙動には、視点が敏感に反応していたが、フェンダー・ミラーやルーム・ミラーをほどんど見ていなかった。先行車の挙動の追従や周囲の車両の情報を取り入れることを被験者は重視していた。ただし、被験者の多くは後方の車両に注意を払っていなかった。

b）信号を見ないで交差点を通過する場合があった。信号の周期性を被験者は見込んで運転していたようである。また、信号機が建物や広告の背景にマスキングされてしまい運転者が見つけずらい場合もあった。

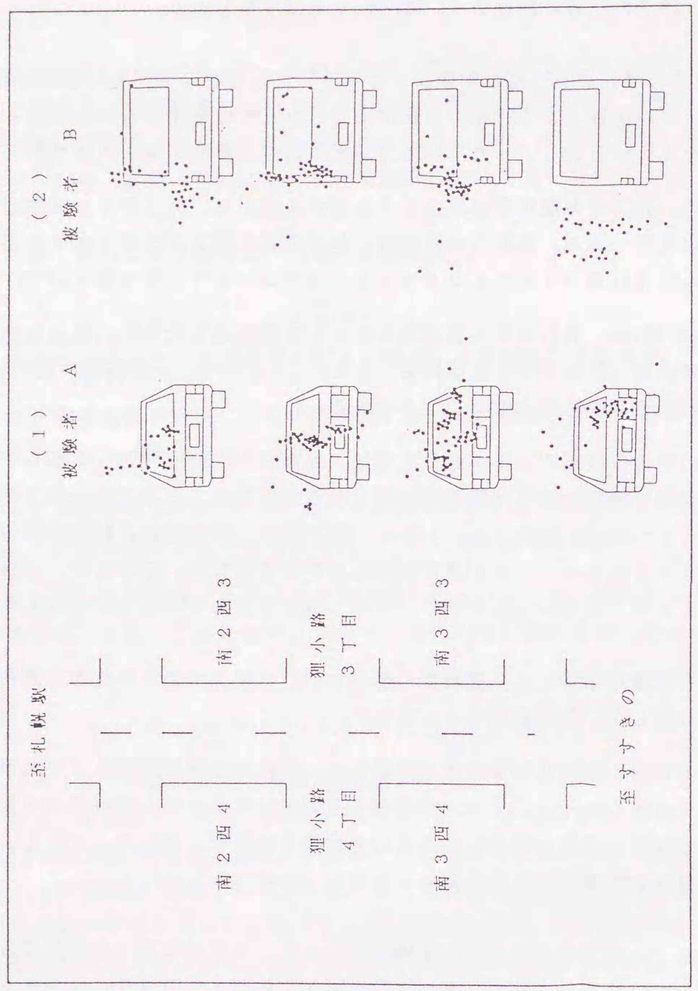


図4-3 街路における視点測定結果

c）被験者は、ほとんど交通標識を見ていなかった。交通標識は常識的なものがほとんどであり、改めて視認するほど重要ではないと被験者の多くが判断していた。また、街路を走行している運転者の視点は先行車の周辺に集まるのに対して、信号機や標識の位置は高い地点にあり、運転者の目に付きにくい。

4．5　郊外の左カーブにおける視点の測定と分析結果

4．5．1　左カーブ区間における視点測定の目的

曲線半径の小さいカーブが連続する郊外の路線で左カーブを中心に視点の測定を行った。昭和58年に北海道のカーブで発生した事故件数は1,496件である。そのうち813件（54.3%）が左カーブで発生していた。全国の事故統計を調べても左カーブでの事故が多くなっている。そこで、左カーブの進入から離脱に至るまでの視点を追跡した。

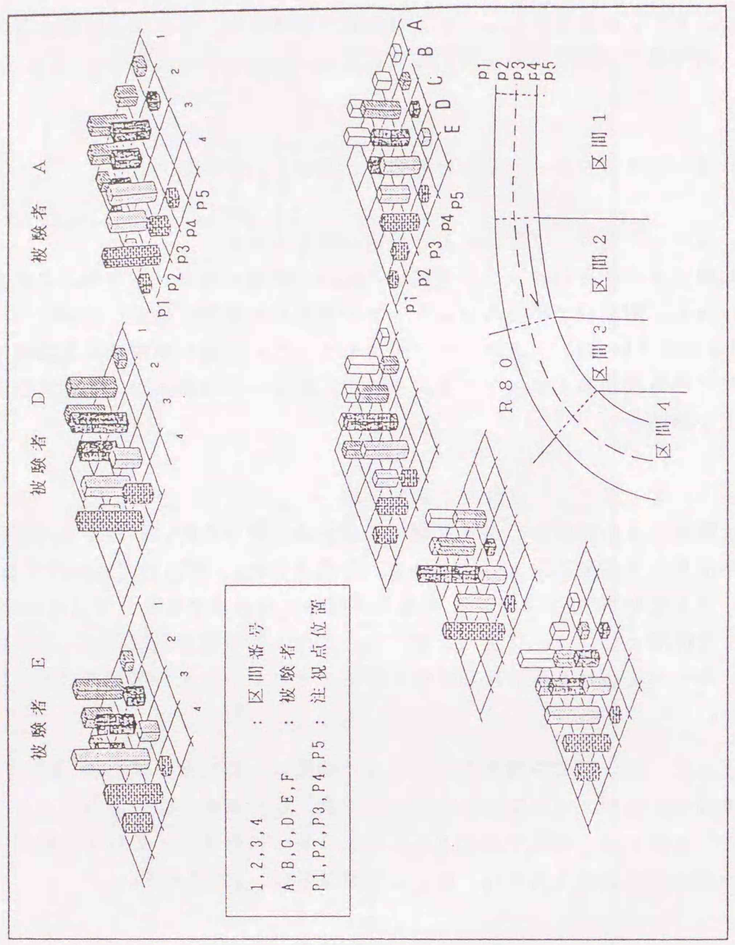
4．5．2　左カーブ区間での測定実験

実験を行った路線は、道々札幌支笏湖線の札幌から約20km程度支笏湖側へ向かったやや登り勾配の左カーブである。曲線半径80m、制限速度50km/hである。このカーブを図4-4に示すよう、その進入手前から通過までを４つの走行区間に分けた。４つの区間とは、カーブ進入手前、カーブ進入時の緩和区間、カーブの円曲線区間、カーブを抜ける時の緩和区間である。それぞれの走行区間での視点位置を求めた。

さらに、走行区間を横断方向に５つの範囲に分割した。図4-4にも示すように、左車線の左外側、走行車線の中央から左側、走行車線の中央からセンターラインまで、右側車線、右側車線のさらに右側の５つに分けた。それぞれ範囲内での視点分布を構成率から求めた。解析した被験者は、5名である。

4．5．3　左カーブ区間での視点測定結果

図4-4の下段は、左カーブを通過するとき走行区間と視点の横断方向分布を示した図である。図4-4の上段は、被験者別に視点の横断方向分布が走行区間により変化する様子を示した図である。



個人差はあるが、左カーブにおける視点の動きは、概ね同じようなパタンを描いていた。カーブの進入手前では、中央付近に視点の中心を置き広く路線全体を眺める。カーブに進入すると左車線の路側帯付近に視点の中心が移動しカーブの半径及び大きさを目測する動きが多くなる。カーブ中央に達し、前方の視界が開けると路線のセンターライン付近に視点が再び移動し、カーブを抜ける時には広く全体を眺めるようになる。

4．6　まとめ

初めて"Vision Analyzer"を運転者の視点の測定に応用し、市街地と郊外の路線で運転者の見方を追跡した。測定した視点の結果を以下にまとめる。

・交通標識は常識的なものがほとんどであり、被験者はほとんど見ていなかった。

・街路を走行している運転者の視点は先行車の周辺に集まるのに対して、信号機や標識の位置は高い地点にあり、運転者の目に付きにくかった。

・信号の周期性を被験者は見込んで運転していた。

・先行車の挙動の追従や周囲の車両の情報を取り入れることを道路標識や標示を見ることよりも優先していた。

・被験者の多くは後方の車両にほとんど注意を払っていなかった。

・カーブの進入手前では、中央付近に視点の中心を置き広く路線全体を眺めていた。

・カーブに進入すると左車線の路側帯付近に視点の中心が移動しカーブの半径及び大きさを目測する動きが多くなった。

・カーブ中央に達し、前方の視界が開けると路線のセンターライン付近に視点が再び移動し、カーブを抜ける時には広く全体を眺めるようになった。

最後に、これらの経験を踏まえて今後の"Vision Analyzer"の交通分野での応用についてまとる。

運転者の視点測定手法は交通工学の諸問題を解決する研究テーマとして従来から取り上げられてきたが、測定装置及び解析システムの限界が研究の進展にとって大きな壁となっていた。しかし、"Vision Analyzer"は、測定装置が被験者に与える影響も小さく、データ収集も非常に容易であった。今後の活用しだいでは従来の運転者の視覚的な問題の解決に大きく寄与するものと言えた。

ただし、実車による実験では限界があろう。特に同一の条件で多数の運転者の視点を測定することは不可能である。そこで、同一の走行条件の再現が可能である運転シミュレータを用いる手法の開発は必要となろう。

参考文献

(1) 福田忠彦、山田光穂：「新しい注視点情報解析装置とその放送への応用」、人間工学全国大会、Vol.20, pp.52-53, 1984

(2) M.Yamada and T.Fukuda : "Quantitative Evaluation of Eye Movements as Judged by Sight-Line Displacements", S.M.P.T.E.Journal, Vol.95, No.12, pp.1230-1241, 1986

(3) 山田光穂、福田忠彦：「視線情報を用いた画像の客観分析」、NHK技研 R&D, No.2,1988

(4) 村田隆裕、中村良夫：「自動車運転者の注視点」、交通工学、Vol.5, No.5, pp.3-12, 1970

(5) 小林実、村田隆裕、巻上安爾：「高速道路工事区間での注視点調査」、交通工学増刊号、Vol.7, pp.17-26, 1971

(6) 村田隆裕：「交通安全施設に対する注視行動」、交通工学、Vol.8, No.6, pp.13-27, 1973

(7) 村田隆裕：「注視行動の統計的性質」、土木学会論文報告集、Vol.213, pp.55-63, 1973

(8) T.H.Rockwell, C.Overby, and R.R.Mourant : "Driver's Eye Movements: An Apparatus and Calibration", Highway Research Record, No.247, pp.29-41, 1968

(9) Mourant,R.R. and Rockwell,T.H. : " Strategies of visual search by novice and experienced drivers", Human Factors, Vol.14, pp.325-335, 1972

(10) 和気典二、小林実：「道路標識の視認性」、交通工学増刊号、Vol.8, pp.14-23,1972

(11) D.Shinar, E.D.McDowell, and T.H.Rockwell : "Eye movements in curve negotiation", Human Factors, Vol.19, pp.63-72, 1977

(12) 森田敬信：「運転行動における視覚情報摂取過程：二輪自動車運転を中心として」、大阪大学人間科学部紀要、Vol.4, 1978

(13) 中島源雄、末永一男、鈴村昭弘：「視覚反応における後部灯火器の検討：特に夜間における車間距離の接近現象について」、国際交通安全学会誌、Vol.5, No.4, pp.19-31, 1979

(14) 三浦利章：「運転場面における視覚的行動：眼球運動の測定による接近」、大阪大学人間科学部紀要、Vol.5, 1979

(15) 斉藤進：「視線の動きとその定量的計測」、自動車技術、Vol.41, No.11, pp.1280-1284, 1987

(16) 黒木康之、麻生勤：「運転中のドライバー注視線測定の一方法」、自動車技術、Vol.31, No.7, pp.625-629, 1977

(17) 石田敏雄：「トラック運転者の目の位置について」、自動車技術、Vol.32, No.7, pp.705-709, 1978

(18) M.Nagata, H.kuriyama : "Visual Behavior of Novice and Experienced Drivers", SAE 820415, 1983

(19) M.Nagata, H.Kuriyama : "Driver's Visual Behavior under Conditions of Negotiating Obstructions", SAE 840550, 1985

(20) 米田義弘：「注視点によるドライバーの運転挙動に関する基礎的研究」、昭和61年度卒業論文、北海道大学工学部・土木工学科、1986

(21) 松川智弘：「路側駐車が運転行動に及ぼす影響について」、昭和61年度卒業論文、北海道大学工学部・土木工学科、1986

(22) 寺林正毅、山田光穂、福田忠彦：「ビジョンアナライザーを活用した交通番組の制作」、テレビ学会技術報告、Vol.9, No.18, 1985

(23) 加来照俊、萩原亨、寺林正毅、山田光穂、福田忠彦：「ビジョンアナライザーによる運転者の視線追跡」、テレビ学会技術報告、Vol.9, No.18, 1985

第５章　運転者の眼球運動と走行条件の関係

５．１　概　説

"Vision Analyzer"を用いて、種々の条件で運転者の眼球運動を測定した。第４章で実施した実験の経験を生かし、初期設定の方法や運転者への装置の装着方法などに改良を加えた[1)-2)]。

本章の実験は、運転者の眼球運動と走行条件の関係を知ることを目的として実施した。これまで測定装置の性能から運転中の眼球運動の測定は、フィルムやビデオを再生しながら研究者が手作業でデータ解析を行っていた[3)-4)]。したがって、運転者の眼球運動を種々の条件で何度も測定するといった膨大なデータ処理を必要とする実験は、事実上実施不可能であった。"Vision Analyzer"では、眼球運動の測定結果は２次元平面での視点座標値としてリアルタイムに出力される[5)-6)]。

そこで、リアルタイム処理可能な特徴を生かして、種々の走行条件で眼球運動の測定を繰り返し行った。被験者は、5名である。同じ走行条件で4回以上の測定を行った。合計で100回以上の測定回数になった。実験に用いた車種は乗用車と大型車（バス）である。大型車は、大型二種の免許証を保有している2名の被験者についてのみ実験を行った。実験は、道路の周辺に商店やビルの多い街路と、周りに建物はないが交通量の激しい幹線道路とで実施した。これらの条件で、昼間と夜間において実験を行った。

これらの実験の結果、同じ被験者で走行条件が類似している場合の視点分布はほぼ同じであった。特に、運転に慣れている運転者は、毎回ほとんど同じ視点分布を示した。一方、走行条件の違いが視点分布に与える影響は、被験者により程度の違いは見られたが、同じ傾向を示した。

５．２　運転者の視点測定手法

"Vision Analyzer"を運転者の視点測定に応用する場合の問題点を、第４章で指摘した[2)]。本実験を行う前に、これらの問題点のうち初期設定と装置の装着性について改良した。

5．2．1　"Vision Analyzer"の初期設定

"Vision Analyzer"を用いて視点を測定する場合の最も重要なポイントは、初期設定である。初期設定は、任意の平面に投射される被験者の視点を計算機内の座標値に変換する係数を決定するために行われる。被験者の正面の４点の指標を被験者に見てもらい、視点の測定結果と計算機内の指標位置を一致させることによりなされる。実験を実施するスタッフが、この設定を手早く正確に行うにはある程度熟練を要する。これにより、測定結果の精度と信頼度が決定すると言っても過言ではない。

具体的に手順を示す。図5-1に示すように、被験者の真正面に正方形の平板を置く。平面の原点は、被験者の両眼の中心を平行移動した位置とする。すなわち、被験者が運転姿勢をとり正面を向いた時の中心点が原点となる。指標を平面上に中心から等距離の位置に４つ設定する。この４点と中心を被験者に見てもらい、計算機のモニター上の５つの点と測定から得られた視点が全て一致するように眼球運動の検出装置を設定する。これにより測定された視点をモニター上の座標に変換する係数が決定される。

しかし、視点が全ての指標と一致するように検出装置を短時間に調整することは極めて困難である。なぜなら、被験者の眼球の形、頭の大きさ等は様々であり、検出装置のセッティングをしなければならない。このとき、被験者に繰り返し指標を見てもらうことになる。しかし、被験者の疲労や気分の問題から調整できる時間は10分程度と言える。したがって、視点と指標の一致は、ほとんどの実験において完全に成しえない。

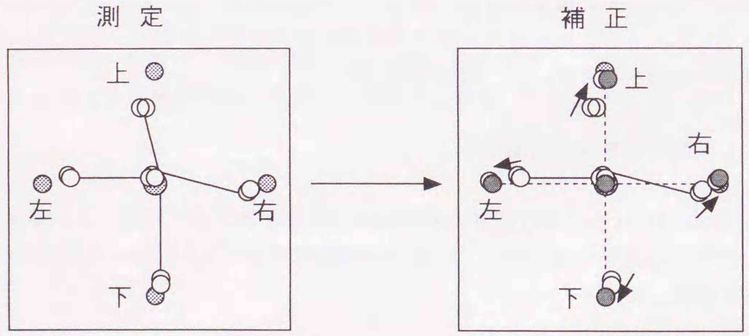


図5-1　視点の較正とズレの補正

そこで、図5-1に示すように指標と視点のズレを補正する係数を算出する手法を導入した。実験開始前に、上下・左右・中央の指標を見たときのデータを保存し、基準点とのズレを計算して係数を求め実測時の測定値をその係数で修正した。また、実験終了時にも較正を行い、そのデータを保存した。これにより、実験中に測定装置が、設定した位置から動いたかどうかの判断が可能となった。これらの二つの手法により、初期設定の精度を改善した。

5．2．2　測定装置の装着手法

眼球運動を検出するセンサーは眼鏡の枠に類似したものに取り付けられている。その枠は、鼻の上部付近で支持され、後のゴム・バンドで締められるようになってる。映像を撮影する小型カメラは、医学用のヘッド・キャップに取り付けられている。

ほとんどの被験者はこれらの器具の装着に、かなり違和感を持ったようであり、通常の運転状況を再現する目標に相反するものと言えた。また、視野映像を記録するカメラの調節機能と位置にも問題があった。背の高い被験者の場合、カメラの真正面に車両の天井とフロント・ガラスの境目が来てしまったり、ヘッド・キャップが天井に接触したりした。運転者の視点の方向により頭部のカメラの向きを微調節する必要があるが、カメラの向きを調節する機能が不十分であり、思うような方向に簡単に設定できなかった。さらに、装着感がよくないせいかあるいは締め具の不具合により、実験中に眼鏡やカメラが動いてしまい、セッティングをやり直す場合も多かった。

そこで、今回の実験では運転席での測定に都合のよいようにカメラをマウントするためのヘッド・バンドを用意した。これにより、当初のものよりカメラの向きや位置が調節しやすくなったことに加え、装着感がいくぶん改善された。また、暗いところでも撮影可能なレンズや広角レンズを揃え、実験条件に合わせれるようにした。

5．3　実験条件

運転者の視点測定を86年8月から１カ月間にわたり、延べ100回以上行った。実験条件は、路線（2種類）・被験者（5名）・車種（乗用車、大型車）・昼夜の組み合わせである。視点の測定と平行して車両の走行速度の計測も行った。本実験では様々な眼球運動の統計的性質のうち、視点分布・注視時間分布・視点移動距離分布について計算し、運転条件との関連から分析した[7)-10)]。

5．3．1　路　線

視点の測定実験で走行したルートを図5-2に示す。ルートの中に測定区間を2箇所設定した。一つは、西5丁目通りの北9条から北23条までである。信号交差点が多くあり、沿道は商店やオフィスが密集している。また、右左折車や駐停車車両が多く、複雑な道路交通条件になっている。

もう一つは、下手稲通り南進方向の約2km区間である。中央分離帯がある片側2車線の道路である。沿道は北海道大学の農場であり、右左折車や駐停車車両はほとんどない。しかし、交通量は過密であり走行速度は比較的高い路線である。測定車は可能な限り中央よりの車線を走行した。

5．3．2　被験者

研究室の学生と学内の職員から、眼鏡をかけていない男性に集まっていただいた。実験条件に大型車が含まれているので、大型車を運転できる被験者A,Bを2名含めた。熟練者は被験者A,B,Cであり、初心者は被験者D,Eである[11)-15)]。

5．3．3　車　種

実験には2種類の車両を用いた。大型車を加えた理由は、過去において測定された例がわずかであること、左折事故や追突事故の報告において運転者の見方が議

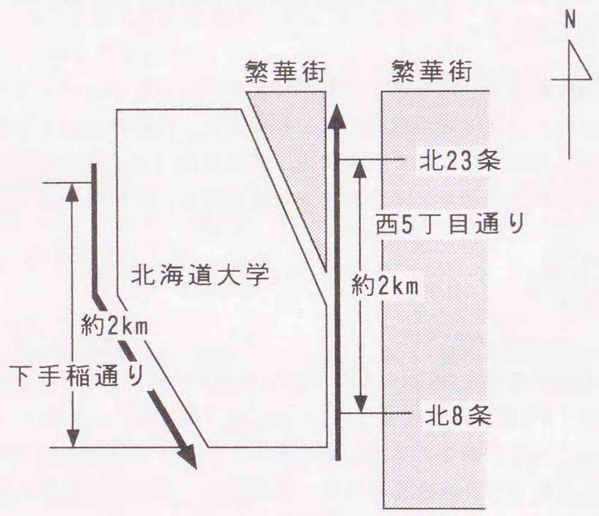


図5-2　実験を行った路線

論の対象となることが多いためである[16)-18)]。実験に用いたバンタイプの乗用車と大型車（バス）の車両の諸元を表5-1に示す。

表5-1　実験に用いた乗用車と大型車の諸元

	長さ	高さ	幅
乗用車	4.7	1.4	1.7
大型車	8.2	2.8	2.3

図中の数字の単位：m

このように車両の諸元が大幅に異なることから、運転者の視界の違いを実験の前に知っておく必要がある。その結果を図5-3と図5-4に示した。

（1）乗用車　初期設定による視点の検出可能範囲と視界について、図5-3に示す。視点の検出可能角度は水平方向、鉛直方向とも±15.6°である。右フェンダー・ミラーの位置は15°前後、左フェンダー・ミラーの位置は35°前後である。運転者が左フェンダー・ミラーを見るとき、頭を動かさなければならない。また、前方下側の視界は10.3°で、前方6.3mまでの路面は運転者から見えない。

（2）大型車　大型車（バス）における被験者の視界を図5-4に示す。視点の検出可能角度は水平・鉛直方向とも19.3°である。右サイドミラーの位置は32°前後、左サイドミラーの位置は60°前後であり、どちらを見る場合にも大きく頭を動かす必要がある。路面からの眼の高さは、乗用車に比較して1m近く高い。

5．3．4　昼間と夜間

昼間だけではなく、夜間の調査も行った。これまでのアイカメラを使った夜間の視点に関する研究はほとんどない。測定手法のために夜間での計測が難しいこと、検出部が大きく夜間の運転が危険なことが大きな理由であったと言える。夜間については、間接的な手法による研究が多かった[19)-23)]。"Vision Analyzer"の利用により上記のような問題は乗り越えることができたので、本実験では全ての走行条件において夜間の実験も昼間と同様に実施した。

5．4　実験結果の分析

視点測定実験を行った結果について、走行条件との関係から分析する。測定値から、視点分布・注視時間・視点移動距離を求めた。車両が、30km/h以上で走行

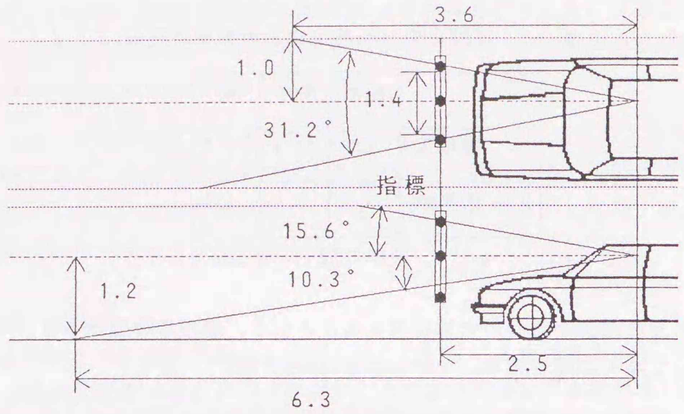


図5-3　運転者の視野範囲（乗用車：図中の数字の単位は ｍ ）

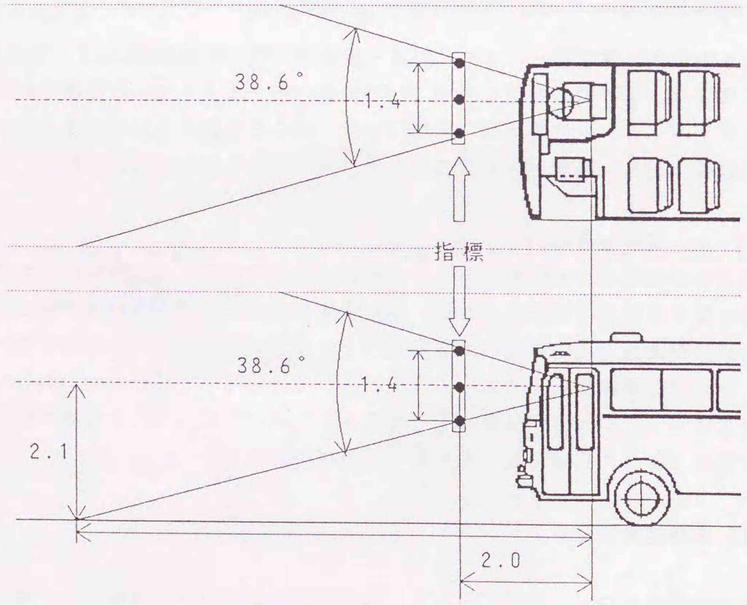


図5-4　運転者の視野範囲（大型車：図中の数字の単位は ｍ ）

している区間についてのみ解析を行った。図5-5に水平方向と垂直方向の眼球運動と車両の速度の関係を示す。眼球運動の特性は人間が動いているか、静止しているか、により大きく異なる。信号で停止している状況と走行している状況を一緒に解析することはできない。そこで、走行速度に一定の制限を設けて解析区間を限定した。

５．４．１　視点分布と走行条件

測定時に記録した視点の座標値から、視点分布を求めた。横軸を水平方向の座標値、縦軸を上下方向の座標値とし、視点をプロットした。視点は、0.1sec毎に測定した。ただし、これらの視点と道路空間を、直接結び付けて考えることはできない。そのためには、視点の動きと同時に運転者の頭部の動きの測定が必要になる。

図5-6から図5-8は、同一の被験者で走行条件の異なる場合の視点分布である。図5-6は乗用車で昼間に運転した時、図5-7は乗用車で夜間に運転した時、図5-8は大型車で昼間に運転した時の視点分布である。運転者から2.5m離れた位置を想定

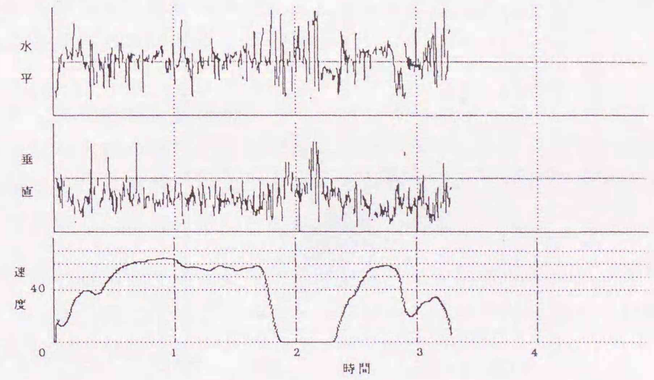


図5-5　眼球運動と走行速度

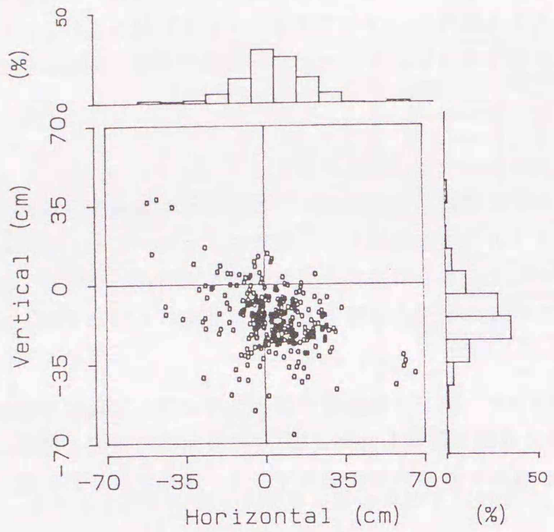


図5-6　視点の分布（乗用車、昼間、被験者Ｂ）

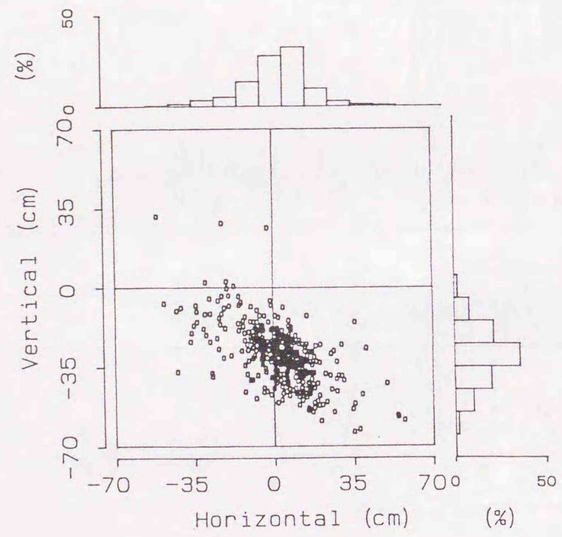


図5-7　視点の分布（乗用車、夜間、被験者Ｂ）

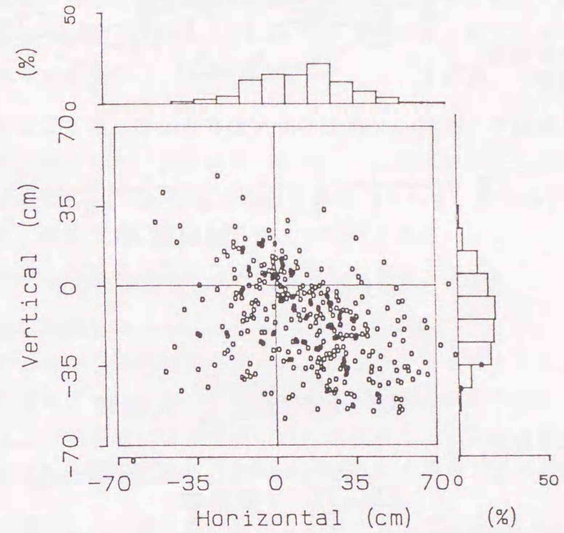


図5-8　視点の分布（大型車、昼間、被験者Ｂ）

した場合の視点分布である。原点は運転者の両眼の中央と一致する。上辺と右辺の棒グラフは、水平方向と垂直方向の視点分布の構成比を示した図である。

視点分布と水平・垂直方向の視点構成比の図から、大型車運転時の視点は乗用車運転時に比較して広範囲に分布していることが分かる。また、昼間に比較して夜間の視点は集中していることが分かる。

５．４．２　視点分布と被験者

人間工学的な実験の場合、制御できない条件が多いため、制御している条件が同じでも実験毎の結果が同じになるかどうか明確ではない。従って、走行条件を同じにして測定した結果の違いを把握しておく必要がある。

そこで、同じ被験者で同条件を走行した実験毎の比較を行った。実車での実験であるので、全く同じ走行条件にはならないが、ほぼ同じと考えられる実験条件のみの測定結果を解析した。

測定結果を視点の水平分布から比較してみた。図5-9と図5-10は、視点の水平分布から求めた標準偏差値である。熟練した被験者A,B,Cの場合、実験による変動は

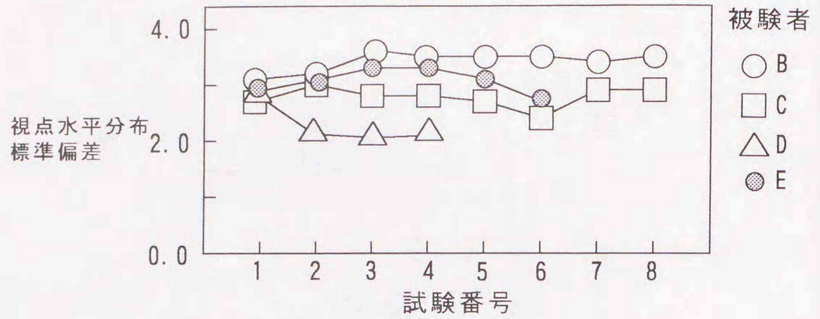


図5-9　視点の水平方向分布と実験毎の変動

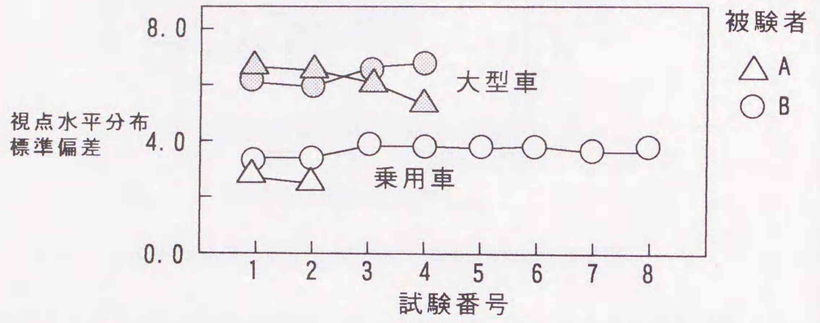


図5-10　視点の水平方向分布と車種の関係

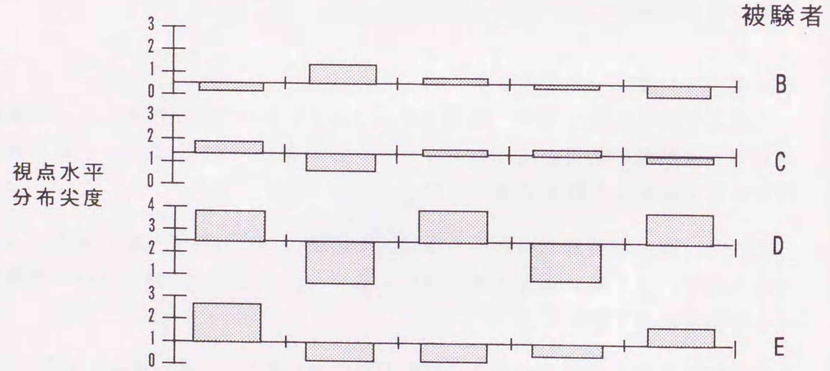


図5-11　視点の水平方向尖度

小さかった。しかし、普段運転しない被験者D,Eの場合、実験による変動は大きかった。これにより、ある程度同じ走行条件であれば類似した視点の動きを運転者は行っているものと推定できる。また、大型車（バス）と乗用車では視点の広がりが大幅に異なると言えた。

次に、被験者による違いをより明確にするために、評価する指標として視点の水平分布の尖度に着目した。測定回数の多かった４名の被験者について図5-11に結果を示す。被験者B,Cは運転経験が豊富な運転者であり、被験者D,Eは経験の浅い運転者である。経験が豊富な運転者は、実験による違いが少なかった。それに対して、経験の浅い運転者は実験による相違が大きかった。

５．４．３　注視時間分布

次に、視点データから注視時間を求めた。第２章で示したように、眼球運動は注視、随従、跳躍の三つに大きく分類でき、各々は視点移動角速度により定義される。本節では、この定義に従って注視時間を求めた。図5-12と図5-13は、注視時間の構成率を示した結果である。横軸は注視時間であり、縦軸は構成比である。

図5-12は、乗用車と大型車の違いを示した図である。被験者A,Bとも大型車運転時において0.1secの構成比が6割強となっており、乗用車に比べて長い注視時間の構成比が小さくなっている。夜間と昼間の注視時間の違いを、図5-13に示す。被験者B,Cとも昼間に比較して夜間は、長い注視時間の構成比が大きくなっていることが分かる。

また、注視時間分布から注視時間の期待値を各々の実験から求めた結果を表5-2に示す。大型車運転時の注視時間が最も短く、昼間に対して夜間の注視時間は長くなった。

表5-2　注視時間と走行条件

	大型車	乗用車（昼）	夜　間
被験者A	0.17	0.35	
被験者B	0.17	0.25	0.29
被験者C		0.26	0.37

図中の数字の単位：sec

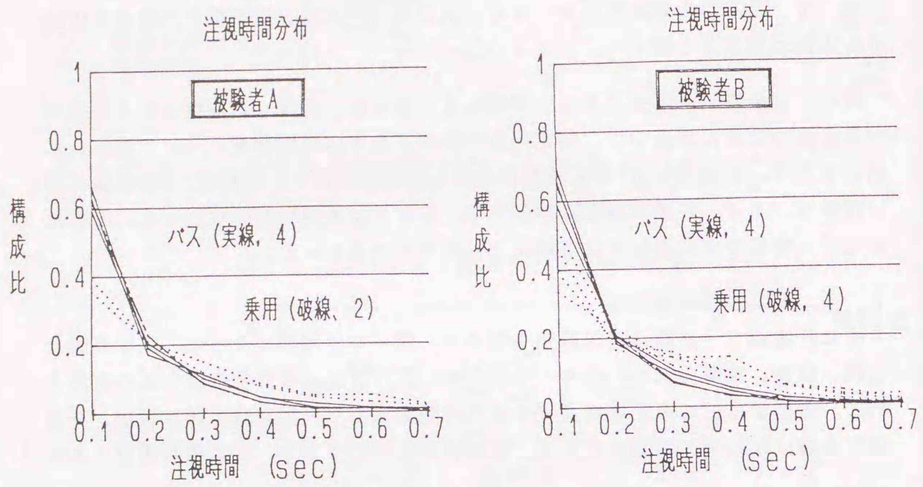


図5-12　乗用車と大型車による注視時間分布（昼間）

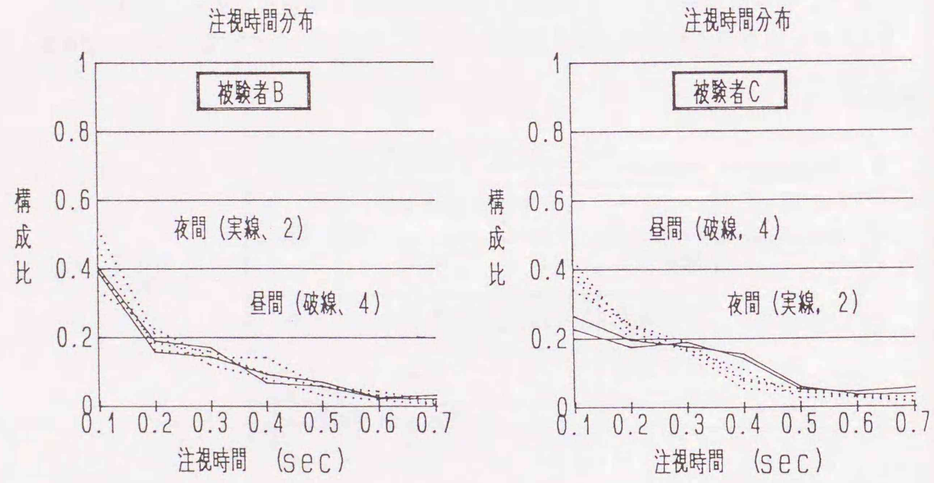


図5-13　昼間と夜間による注視時間分布（乗用車）

5．4．4　視点移動距離分布

最後に、視点移動距離について求めた結果について示す。視点移動距離とは、視点が運転者から2.5m離れた平面上を0.1sec間に動く距離である。視点移動距離の頻度分布を求めた。図5-14と図5-15に結果を示す。

図5-14は、車種による違いを示した結果である。大型車と乗用車ではその分布形が大きく異なった。乗用車においては50mm以下の移動が最大であるのに対して、大型車においては50mmから100mmの移動にかけてピークとなった。図5-15は昼夜の違いを比較した結果である。夜間においては、被験者B,Cとも25mm以下の移動が最大となり視点の移動距離が短くなる傾向を示した。

注視時間と同様に、移動距離の分布から期待値を求めた結果を表5-3にまとめた。大型車の視点移動距離は乗用車の場合の約2倍であり、夜間は被験者B,Cとも昼間より約2割短くなった。

表5-3　視点移動距離と走行条件

	大型車	乗用車（昼）	夜　間
被験者A	146	73	
被験者B	145	89	73
被験者C		72	56

図中の数字の単位：mm

5．4．5　分析結果

運転者の視点の測定を種々の走行条件下で行った分析結果についてまとめる。水平分布の尖度、注視時間、視点移動距離の車種による違いを図5-16にまとめた。大型車を運転している場合、注視時間は乗用車の時より約3割程度短くなり、注視移動距離は約2倍に長くなった。よって、大型車運転時は、乗用車運転時に比べて視点を頻繁に大きく動かしていると言えた。

そこで、大型車と乗用車の車体の差を車幅比により表現し、その比と各測定値の比を求めた結果を表5-4にまとめた。車幅の比より、注視時間の比と移動距離の比の両者とも大きくなった。大型車は車体が大きいのでより多く情報を入手する必要があるが、これらの結果から、運転者は車体の大きさ以上に眼を動かしていたと推定できる。

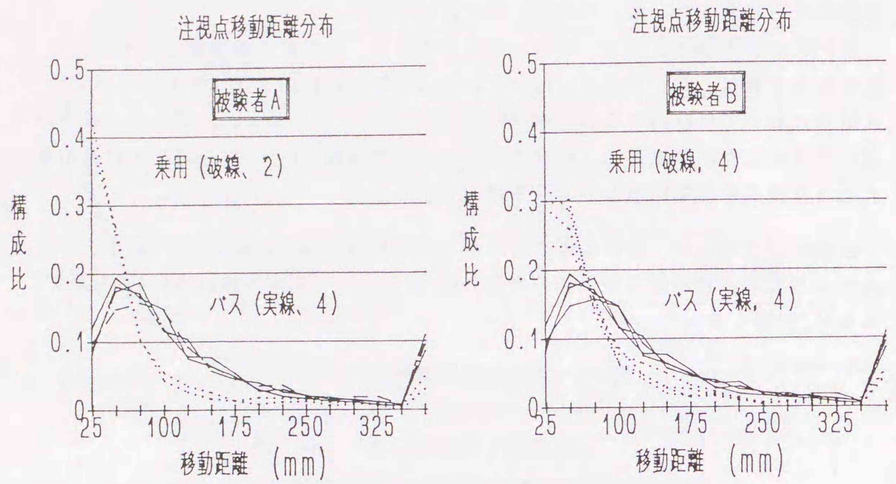


図5-14　乗用車と大型車による視点移動距離分布（昼間）

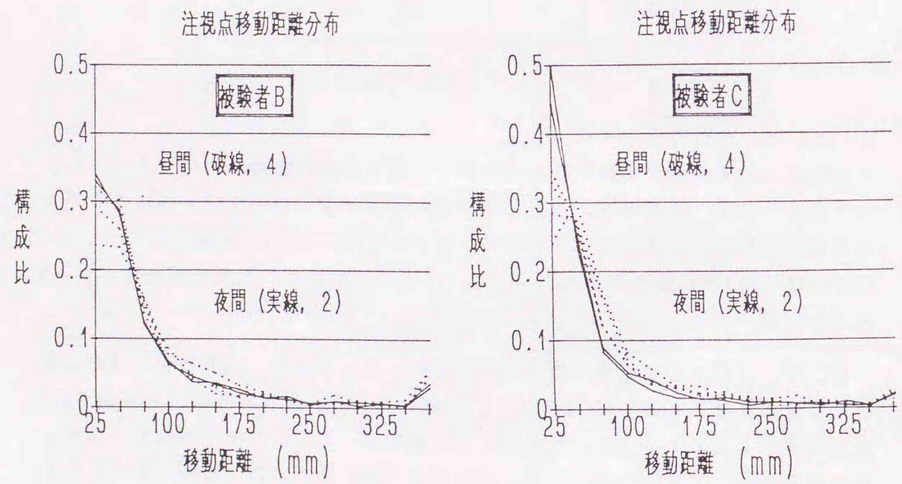


図5-15　昼間と夜間による視点移動距離分布（乗用車）

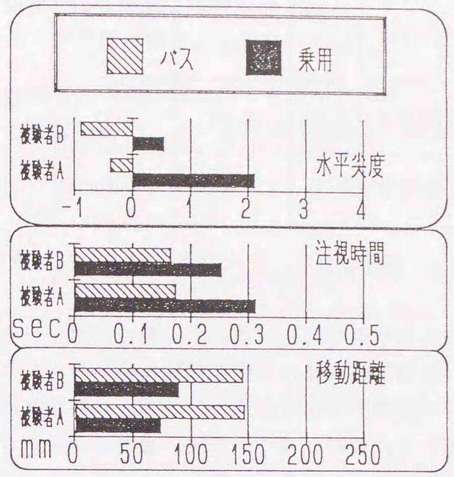


図5-16　車種による水平尖度、注視時間、視点移動距離（昼間）

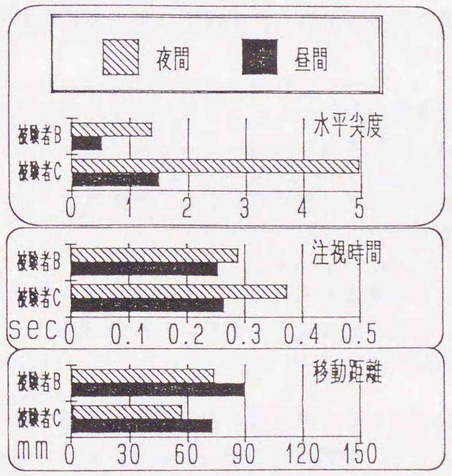


図5-17　昼夜による水平尖度、注視時間、視点移動距離（乗用車）

表5-4　大型車（バス）と乗用車の比較

	車幅 B/P	注視時間 P/B	移動距離 B/P
被験者A	1.35	1.80	2.0
被験者B	1.35	1.53	1.63

（注）　表中の文字　B:大型車（バス）　P:乗用車

次に、夜間と昼間の実験結果を図5-17に示す。視点の水平分布の尖度、注視時間、移動距離により、昼間運転時及び夜間運転時の違いを示した。昼間と比較して夜間において運転者の注視する範囲は狭い。また、注視する時間は長くなる。その理由として、夜間は光の照射されている狭い範囲しか見えず、その光量も不十分であるため認識に時間がかかり視点の範囲も狭まるからと考えられる。

5．5　まとめ

本章では、眼球運動と走行条件の関係に焦点を絞って実験と分析を実施した。種々の条件で運転者の視点の動きを"Vision Analyzer"を用いて測定した。分析に用いた評価指標は、視点の水平分布、注視時間、視点移動距離である。その結果を以下にまとめる。

・同じ被験者で走行条件が類似している場合の視点分布はほぼ同じであった。特に、運転に慣れている運転者は、毎回ほとんど同じ視点分布を示した。

・走行条件の違いが視点分布に現れる影響は、被験者により程度の違いは見られたが、同じ傾向を示した。

・大型車運転時は、乗用車運転時に比べて視点を頻繁に大きく動かす。大型車を運転している場合、注視時間は乗用車の時より約3割程度短くなり、注視移動距離は約2倍に長くなった。

・昼間と比較して夜間において運転者の視点が動く範囲は狭くなり、注視時間は延びた。その理由として、夜間は光の照射されている狭い範囲しか見えず、その光量も不十分であるため認識に時間がかかり視点の範囲も狭まるからと考えられる。

参考文献

(1)　寺林正毅、山田光穂、福田忠彦：「ビジョンアナライザーを活用した交通番組の制作」、テレビ学会技術報告、Vol.9, No.18, 1985

(2)　加来照俊、萩原亨、寺林正毅、山田光穂、福田忠彦：「ビジョンアナライザーによる運転者の視線追跡」、テレビ学会技術報告、Vol.9, No.18, 1985

(3)　村田隆裕：「注視行動の統計的性質」、土木学会論文報告集、Vol.213, pp.55-63, 1973

(4)　T.H.Rockwell, C.Overby, and R.R.Mourant : "Driver's Eye Movements: An Apparatus and Calibration", Highway Research Record, No.247, pp.29-41, 1968

(5)　福田忠彦、山田光穂：「新しい注視点情報解析装置とその放送への応用」、人間工学全国大会、Vol.20, pp.52-53, 1984

(6)　山田光穂、福田忠彦：「視線情報を用いた画像の客観分析」、NHK技研R&D, No.2,1988

(7)　M.Kondo et al :"Driver's Sight Point and Dynamics of the Driver vehicle System Related to It", SAE Paper 680104, 1968

(8)　W.J.Burger :"Comparison of Static and Dynamic Driver Eye Positions in Various Passenger Vehicles", SAE Paper No.720201, 1972

(9)　P.K.Hughes and B.L.Cole : "The Effect of Attentional Demand on Eye Movement Behaviour When Driving", Vision in Vehicles Ⅱ, pp.221-230,1987

(10)　J.Luoma : "Drivers' Eye Fixations and Perceptions", Vision in Vehicles Ⅱ, pp.231-238, 1987

(11)　R.R.Mourant, et al:" Visual Information Seeking of Novice Drivers", SAE Paper, No.700379, 1970

(12)　Viveck D.Bhise : "Modeling Vision with Headlights in a Systems Context", SAE Paper No.770238, 1977

(13)　蓮花一巳：「ドライバーの視覚的注意に及ぼす運転経験の効果：言語報告法による注視対象の分析」、IATSS review, Vol.5, No.3, 1979

(14) M.Nagata, H.kuriyama : "Visual Behavior of Novice and Experienced Drivers", SAE 820415, 1983

(15) 増田賢二：「自動車運転初心者の交通コンフリクト時における視覚行動」、自動車技術会論文集、No.44, pp.100-105, 1990

(16) 石坂高志、吉田茂：「ドライバーの目の位置と運転限界」、自動車技術、Vol.25, No.10, pp.1052-1057, 1971

(17) 石田敏郎：「トラック運転者の目の位置について」、自動車技術、Vol.32, No.7, pp.705-709, 1978

(18) 中野秀一、益子仁一、岡田竹雄、伊藤紳一郎：「大型トラックの左折時に必要な左側方視界の求め方についての一考察」、自動車技術、Vol.36, No.11, pp.1201-1205, 1982

(19) H.W.Leibowitz, D.A.Owens and R.B.Post : "Night Driving and Visual Degradation", SAE Paper No.820414, 1982

(20) W.H.Janssen : "Driver's Inability to Judge Important Parameters of Leading Vehicle Movement at Night", SAE Paper No.770129, 1977

(21) J.J.Meyer, A.Bousquet, J.Schira, L.Zoganas, and P.Rey : "Loght Sensitivity and Visual Strain When Driving at Night", Vision in Vehicles Ⅱ, pp.65-74, 1987

(22) A.Bartmann and D.Reiffenrath : "Visibility under Night Driving Conditions", Vision Vehicles Ⅲ, pp.361-368, 1989

(23) 斉藤友子、飯塚晴彦：「夜間の運転者視覚特性のモデル化」、日本自動車技術会学術講演会前刷集、Vol.911, No.911095, pp.383-386, 1991

第６章　運転者の３次元視点位置とその評価手法

６．１　概　説

本章では、運転者の３次元視点位置を求める手法を開発し、運転者の見方を評価した。

第５章で測定した視点は、眼の動きの測定値のみによる視点であった[1)-5)]。走行条件による眼球運動の特徴を水平方向の頻度分布、注視時間分布、視点移動距離分布から評価した。しかし、頭部の動きが視点データに加わっていないため、視点と道路空間の関係を直接結び付けることはできなかった。そこで、本章では頭部運動を測定する方法を導入し、眼球運動のデータと合成した。その結果、運転者が見た位置を三次元的に求めることが可能となり、視点と道路空間の関係を計算機内で結び付けれるようになった。

一方、運転者の情報収集パタンを評価する新しい手法を導入した。運転者の視覚行動は道路環境を情報源とする情報の収集であると仮定し、情報量の期待値であるエントロピーを指標として、情報収集パタンを評価した。これにより、運転者が運転中に得ている情報量を推定した。

６．２　３次元視点位置の算定法

第４、５章と同様に眼球運動の測定には、"Vision Analyzer"を用いた[1),6)]。初期設定や測定の詳細は、第５章で示した手法を用いた。本節では、運転者の頭部運動の測定方法と３次元視点位置の計算方法について説明する。

６．２．１　頭部運動の測定

頭部運動と眼球運動は、人間が物体を見るとき意識的に制御できない連鎖運動である。例えば、被験者は、運転時に上下方向と左右方向に頭を動かす。メータ類を見るとき頭を下方向に向ける。左のフェンダー・ミラーを見るとき頭を左に回す。

運転者の頭部の動きを測定する方法には大きく二つある。ポテンショメータ、ポジション・センサー、磁気センサー等のセンサーを用いた測定手法と、頭部運動を撮影した映像からその動きを解析する等の映像を用いた手法がある[7)-10)]。本章の実験では、後者の映像による手法を応用した。図6-1に手法の概要を示す。

ヘッド・バンドに取り付けたカメラから車体に固定した指標を撮影し、その相対運動を分析することから求めた。試験車の前方に指標を2点設定し、その指標の動きを運転者頭部の小型カメラにより撮影する。映像から、指標の座標値を0.2sec毎にマウスを用いて計算機に入力する。初期設定を行ったときの指標位置を基準として、頭部の動きを数値化する。

この手法の利点は、車両に対して被験者の頭部の動きを測定していることになるので、測定値には頭部運動のみでなく運転者の姿勢を含むことができる。カメラによる映像を用いているため、試験条件による制約がほとんどない点も大きな利点として挙げられる。

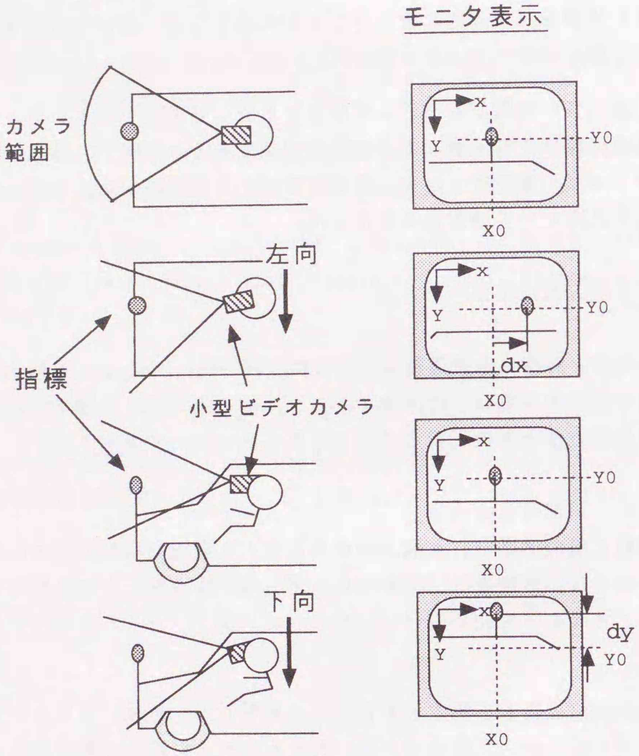


図6-1　運転者の頭部運動の測定方法の原理について

一方、欠点としては解析に非常に時間がかかる。解析の時間間隔0.2sec以上の細かい周波数での解析が困難である。また、被験者前方に指標を取り付けるので、視覚的な影響を被験者に与える可能性がある。特に、夜は指標を点灯するので影響が大きい。今後、長所を消さずに欠点を修正する手法の開発を行っていく必要がある。

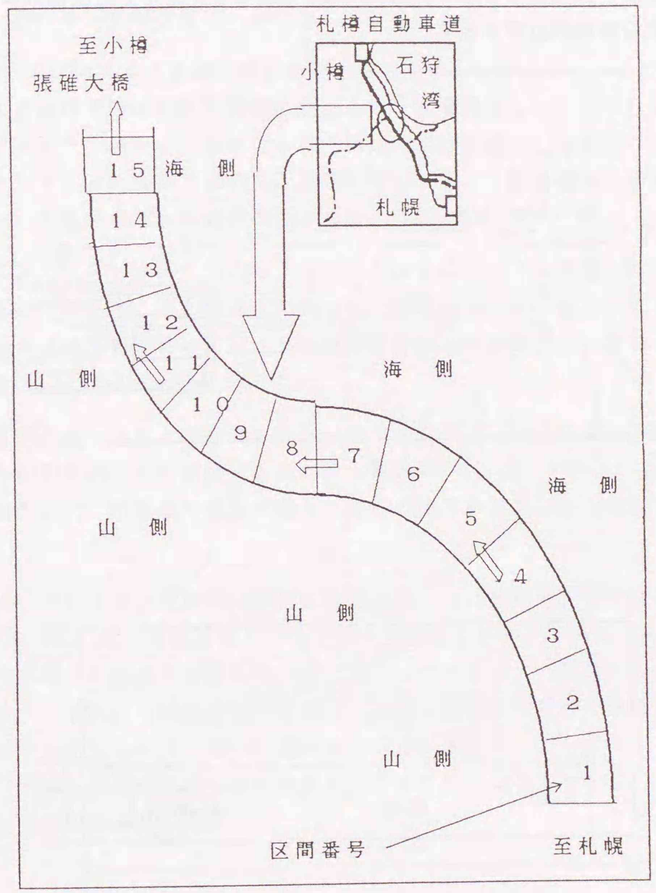


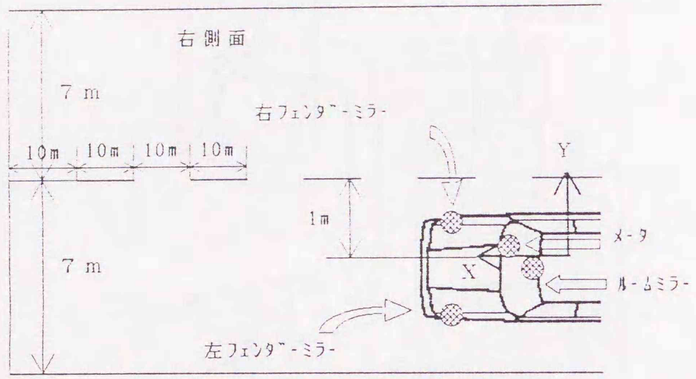
図6-2　視点の解析を行った道路区間

6．2．2　道路構造

実車での測定実験は、札樽自動車道の銭函・朝里インター間で実施した。視点の解析区間として曲線区間と直線区間を設定した。図6-2に曲線区間を示す。　約1.5kmの間に左と右のカーブがある。直線区間は、これより札幌側の約1kmの区間である。

6．2．3　視覚対象物

運転者が注視する対象物として、ルームミラー、左右のフェンダーミラー、メータ類の車両に関するものと道路空間である。道路空間は、左側面・右側面・道路面・上面・100m前方の５つに分類した。図6-3に３次元空間座標系におけるこれらの視覚対象物の位置を示す。



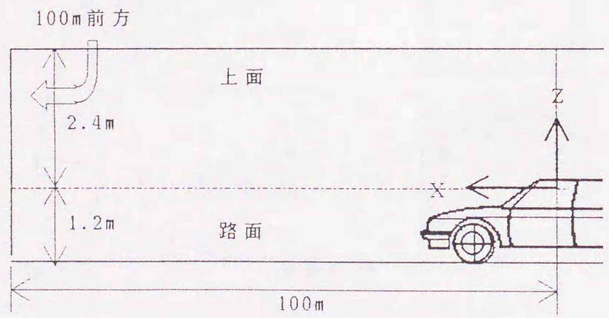


図6-3　運転者の視覚対象物

6．2．4　視点の３次元位置と道路空間

運転者が見ている位置を３次元的に解析することはこれまで極めて興味ある課題であったが、これを明確にシステム化した例は少ない。３次元空間において正確に視点を求めるためには、物体の認識に関する問題から検討する必要があると考えられるが、本章では簡易な方法を用いた。

３次元空間での視点位置を求める手順を図6-4に示す。運転者と指標平面の位置関係を測定し、指標平面上の視点と運転者の眼を結ぶ直線を拡大することから注視対象物または地点を求めた。このため、運転者の頭部の動き、道路構造、自動車の構造、等のデータが視点データの他に必要になる。

曲線区間では図6-2に示す道路空間の変形を考慮する必要がある。そこで、車両の走行地点と道路空間の形状を連動させるシステムを作成した。そのため、走行距離の測定を視点の測定と同時に行った。車両の走行距離は、実験車の後輪の回転数をカウントする手法から求めた。道路に付属している距離標から基準点を定め、測定した距離値を加えて走行地点とした。

以上の手法によって求めた視点は、視線の方向を拡大し予め設定した道路空間と交差する点であって、その視線上の先あるいは手前である可能性はある。しかし、運転時の注視行動において仮定した道路空間からかけ離れた対象物を長く見る場合は少ないと考えた。

次に、道路空間全体を３次元的に画面に表現するシステムを開発し、運転者の視点と道路線形を合成した画像の表示を行った。図6-5に視点の動きと道路線形を合成した図を示す。運転者の視点の動きと線形の関係を容易に読み取れるようになった。

観察者の視点を３次元空間内に自由に設定でき、視点の動きを多方向から分析できる。図6-6は、視点の位置を３つの方向から表示したものである。図6-8から図6-10の各区間では視点を５秒間まとめて表示しているが、パソコンのＣＲＴ上においてはリアルタイムに車両が進行すると同時に運転者の視点の軌跡を表示することが可能となっている。更に、運転席からの映像をスーパーインポーズし、実際の走行場面に視点の軌跡の画面を重ね合わせて見ることもできる。３つの観察点について説明する。

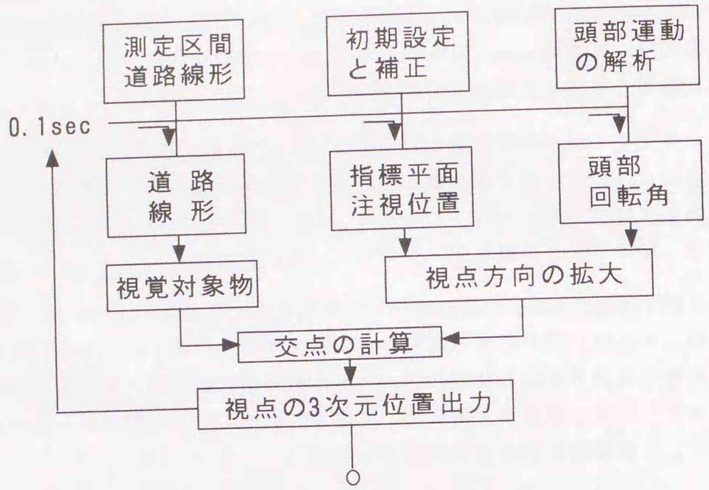


図6-4　視点の３次元位置を求める新しいシステムについて

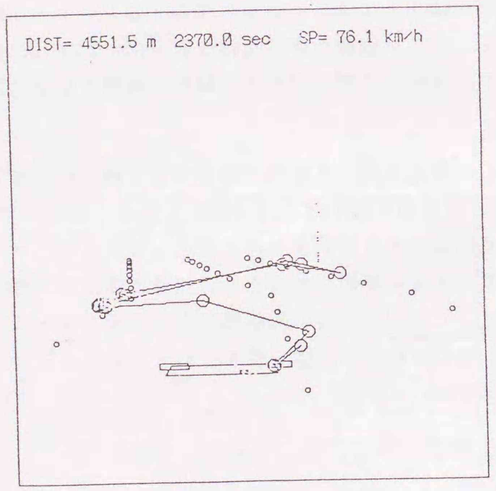


図6-5　３次元位置の再表示例

a）観察点Ａは、走行車両の真上10m から運転者の視点を示す視点である。100m区間全体を図6-6に示しているため、手前の試験車は極めて小さく表示されている。中央線は10m ごとの破線となっており、視点の距離をラフに読み取れる。

b）観察点Ｂは、車両内の運転者の1m後方から観察したときの視点である。中央上がルームミラーであり、左右の四角い枠はフェンダーミラーの一部である。両サイドのフェンダーミラーから下に位置する中央の一群の視点は、メーター類を被験者が見ていることを示している。この観測点からは、運転者のミラーの使い方がよくわかる。

c）観察点Ｃは、車両の左20m から運転者の視点を観察する点である。視点と道路空間の上下方向の関係を明らかにするための観察点である。

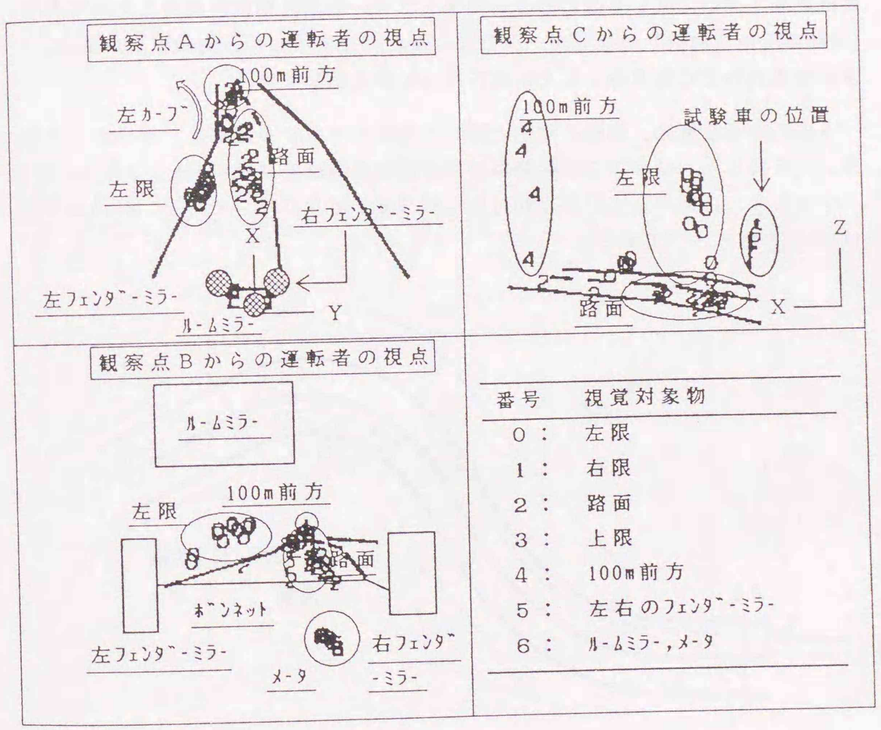


図6-6　３つの観察点から表示した視点と道路

６．３　３次元視点位置の分析

図6-4のフローに従って求めた運転者の視点を分析した。0.1sec間隔で視点の測定と車両の位置の計算を行った。分析区間は、曲線区間と直線区間であり、被験者は４名である。４名ともほぼ同程度の高度な運転技術を持った被験者である。

６．３．１　視点位置の表示と視覚探索パタン

新しいシステムによりあらゆる角度から道路上における視点位置を表示することが可能となった。図6-7は、被験者Aの曲線区間での視点位置と道路線形の関係を示した結果である。道路線形と視点位置から運転者の見方を把握することができる。このような図から標識の位置や道路構造物の配置を検討することも可能となろう。

次に、視点と道路空間の関係を立体的に示す。図6-8から図6-10に、運転者の視点位置を３つの位置から見たときの結果を示す。測定区間は前述のとおりであり、5秒間の視点（50個）の位置を一つの図にまとめて表示した。道路線形の図は、5秒毎の車両の走行地点から見える前方100m区間を示している。

車両の走行位置は、視点の測定と同時に測定されている速度センサのデータを用いて計算した。なお、この区間における試験車の速度は75-80km/hであり、ほぼ一定であった。図中左上の番号NO.1からNO.7までが左カーブであり、NO.8からNO.14までが右カーブである。

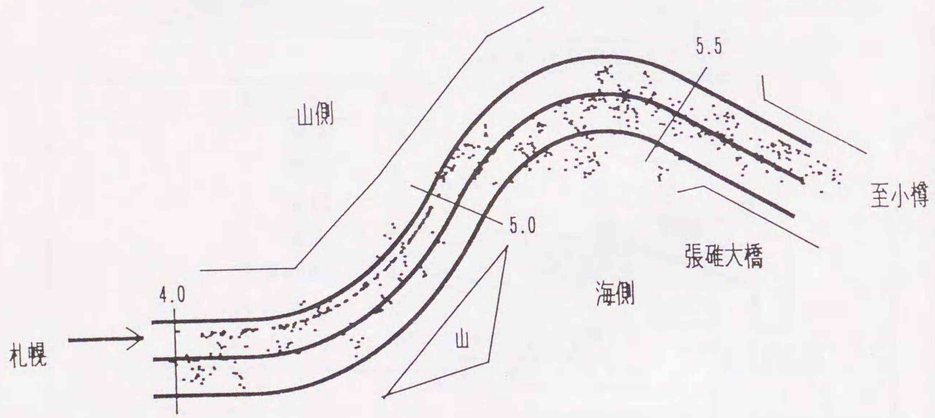


図6-7　道路線形と視点（被験者A）

（１）運転者の真上から見た視点（観察点Ａ）

運転者の真上10mから見た視点を図6-8に示す。

ａ）全体として、この被験者は前方 20-30m付近を注視する傾向が強い。予想より近い地点を見ていると思われるが、その理由として試験走行時において前後にほとんど他の車両が見られず、運転者の必要な情報として主に前方の線形に集中した等の理由が考えられる。

ｂ）左カーブを進入する区間NO.2、右カーブに進入する区間NO.8においては、カーブ区間に比べて比較的遠い地点を見ている。カーブ進入区間では前方のカーブに関する情報を探るために遠くを注視し、カーブ区間では先に得た情報を修正しながら車両を安定して走行させるために左カーブなら左のラインを右カーブなら右のラインを注視するものと思える。

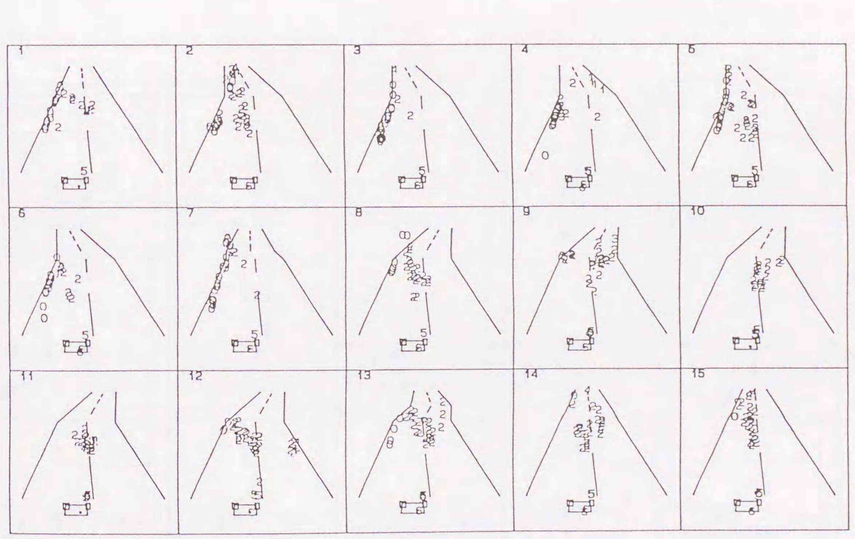


図6-8　運転者の真上から見た視点の透視図

（２）運転者の後方から見た視点（観察点Ｂ）
運転者の後方1mから見た視点を図6-9に示す。

ａ）両サイドのフェンダーミラーから下に位置する中央の一群の視点は、メーター類を被験者が見ていることを示している。しばしば、速度の確認をしていることが分かる。

ｂ）この観測点からは、運転者のミラーの使い方がよくわかる。被験者は、ルームミラーは３区間、右のフェンダーミラーはほぼ毎区間回使っている。一方、左のフェンダーミラーはどの区間においても注視していないことが分かる。
高速道路において右側は追越しが行われるため運転者は定期的に後続車の確認が必要であり、右フェンダーミラーとルームミラーを使って確認している。しかし、左側後方はそれほど重要とは思えず、測定区間における情報の順位が他の情報に比較して低かったからであろう。

ｃ）視点の位置がほぼ100m前方の水平線からわずか下（図において）に集中する傾向がみられる。更に、左右に視点を動かす場合でも上下はほぼ水平線からわずか下に位置していることが分かる。

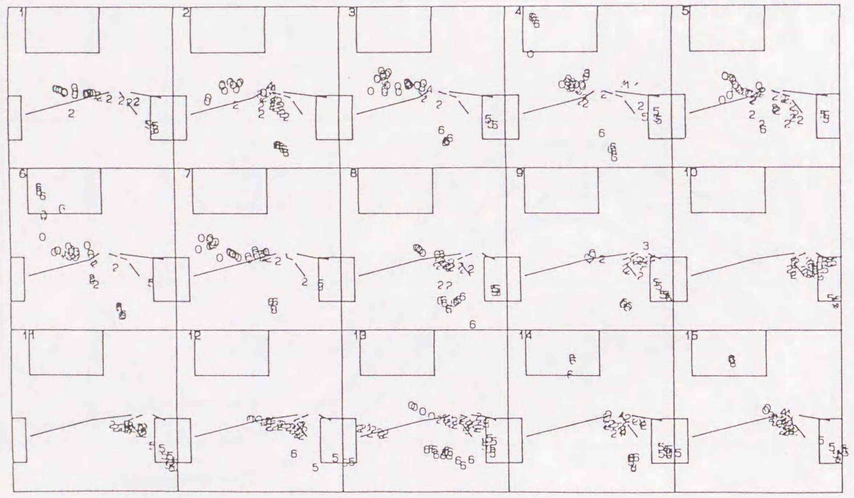


図6-9　運転者の後方から見た視点の透視図

（３）運転者の横方向から見た視点（観察点Ｃ）
運転者の左横方向20mから見た視点を図6-10に示す。

ａ）運転者の眼の位置より高い地点を見るケースは、ルームミラーを除いてこの区間内において少なかった。市街地の走行においては、信号をかなり注視するため、上方向を見る場合が多いのとは対称的である。位置の高い標識等がほとんど区間内にないため見る必要がなかったためであろう。

ｂ）カーブにおける視点のパタンに関しては前述したが、この角度の図からも視点のパタンが明らかに読み取れる。区間NO.2,8において比較的前方に視点が移動する傾向がわかる。また、他の二つの図から分からなかった特徴として、左カーブにおいては、高い位置（眼と同等の高さ）を注視する傾向が高いのに対して、右カーブでは、路面上のラインを見ている確立が高い。この理由として、左カーブにおける左側の法面や、カーブ中間の橋の欄干の存在が影響しているからであろう。

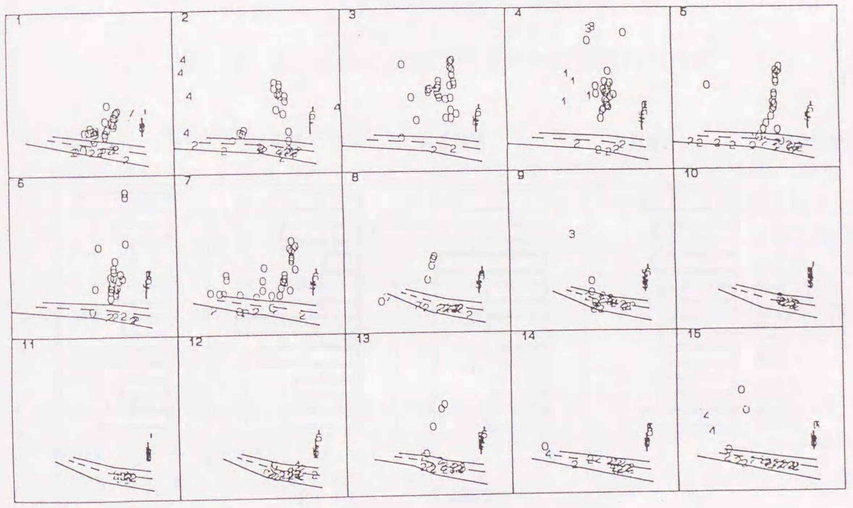


図6-10　運転者の左横方向から見た視点の透視図

図6-8から図6-10により曲線区間における運転者の視覚探索パタンをまとめる。カーブに進入する直前の区間において前方のカーブに関する情報を探るため遠くと近くを交互に見る。一方、カーブ区間では、先に得た情報を修正しながら車両を安定して走行させるために比較的近距離のカーブ外側線を見るといえる。

これらの結果は、「運転者は次の運転行動のための予期的先行プログラムを作成する」とした Cohen による運転行動の時間的流れをとらえた結果と合致している[11]。また、「カーブに入る直前及びカーブを通過しているとき、運転者は車両のすぐ前の道路外側線と前方の道路の端の間をあちこちと視点を移動させる傾向がある。」とした Shinarら によるカーブにおける眼球運動の研究とも一致していた[12)-13)]。

6．3．2　注視時間

曲線区間における視覚対象物別の注視時間の平均値を図6-11に示す。各被験者とも注視時間の平均値は約0.4secであった。フェンダーミラーの注視時間は被験者により差が見られる。フェンダーミラーを注視する場合の時間が他の視覚対象物を注視する時間より長い被験者A,Bと、逆に車両前方の注視時間が長い被験者C,Dに分かれた。また、メータの注視時間はいずれの被験者も0.4secを越えており、他の視覚対象物に比較してメータの数値を認識するために多少の時間が必要な傾向を示した。

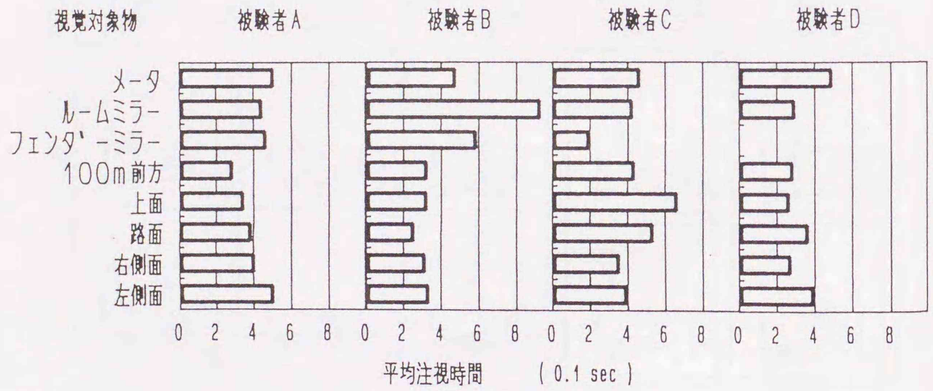


図6-11　視覚対象物別の平均注視時間（曲線区間）

これらの視覚対象物別の注視時間は、過去においてアイカメラ法を用いて報告された結果と比較してみると非常に類似しており、データの信頼性が確かめられた[14)-16)]。

曲線区間と直線区間の平均注視時間の比較を図6-12に示した。４名の被験者とも曲線区間の注視時間のほうが直線区間の注視時間より約10%短くなった。直線区間ではゆっくり見ても余裕があるが、曲線区間においては多くの対象物を短時間に見る必要があり、一つの事象をゆっくり見ていたのでは時間が不足してしまうからであろう。

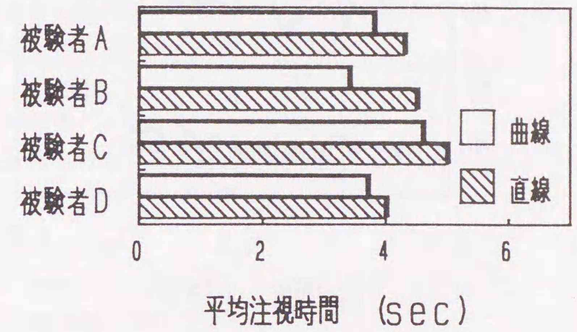


図6-12　曲線区間と直線区間の平均注視時間の比較

6．3．3　進行方向の視点位置

曲線区間における進行方向の視点位置変動を図6-13に示す。ここでは、進行方向の視点位置を視点距離と呼ぶことにする。50m区間の視点距離の平均値の変動で示した。視覚対象物のミラー類とメータは平均値の計算から除いた。区間別の平均値を求めた結果、近い地点と遠い地点を交互に注視する傾向が見られた。また、被験者による区間別の視点距離の違いを比較した結果、道路線形との関係と思われる類似の変動が見られた。

曲線区間と直線区間の視点距離の比較を図6-14に示した。注視時間と異なり平均視点距離は被験者Bを除いて３名の被験者はほぼ同じ値となった。視点距離は、道路線形の要因の他に視距や縦断勾配の影響もあり、単純に平面線形の影響が現れなかったものと思われる。

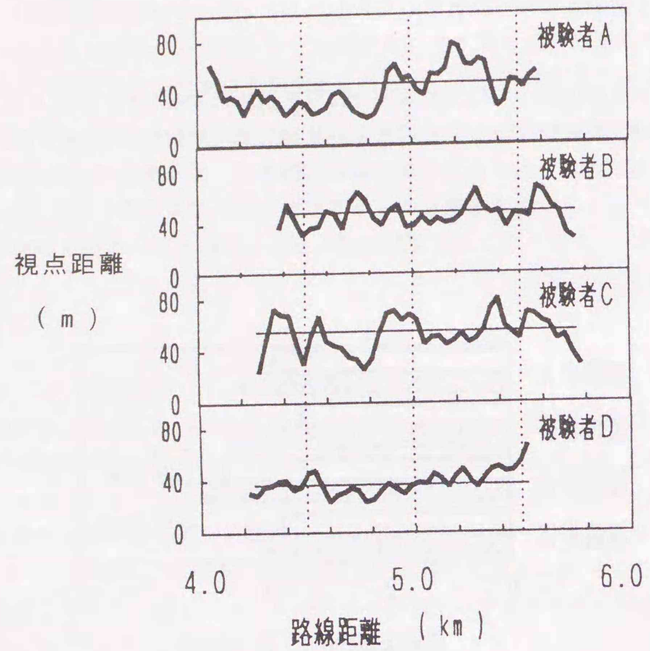


図6-13　曲線区間の視点距離の変動

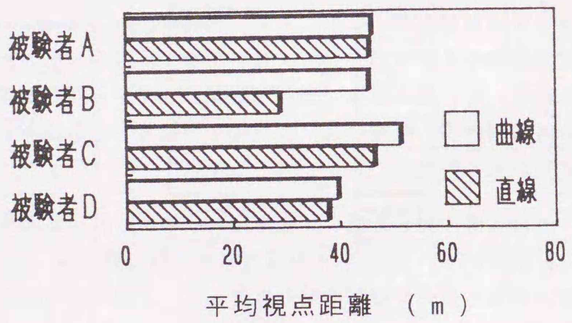


図6-14　曲線区間と直線区間の視点距離

6．4　運転者の情報収集パタンの評価

運転者を情報処理者とみなし、その情報処理能力と過程に関して考察を行った研究が過去行われた。例えば、Shinarらは、曲線区間における運転者の眼球運動の測定結果から、「自動車を適切に制御するための運転者にとってのストラテジーは、情報の取得とその情報を使う時間を最大にすることである」とした[12)-13)]。視点の測定により運転者の情報処理過程に関して多くの適切なモデルが提示されたが、定量的にこれを評価した例は少ない[17)-21)]。

そこで、本研究では、運転者の視覚による情報収集過程を、道路環境を情報源とする運転者への通信系と考え情報理論の導入を行った[22)-31)]。運転者が道路環境から得る情報量の期待値であるエントロピーを求め、エントロピーの変動から運転者の見方の定量化を行った。

6．4．1　情報量とエントロピーの定義

情報は確率事象に対して以下の式で定義される。確率事象Eが生起したことを知ったとき、

$$I(E)=-\log_2 P(E) \qquad (6\text{-}1)$$

P(E)：事象Eの生起確率

I(E)：情報量（単位:bit ）

の情報量を受け取ったという。すなわち、ある事柄についての情報量は、その事柄の生起確率に依存するものであり、生起確率が小さいほどその事柄が生起したことを知ったときに受け取る情報量は大きくなる。また、生起確率が大なるほどその事柄が生起したことを知ったときに受け取る情報量は小さくなる。

エントロピーは、離散的情報源から出力される情報を一つ知らされるごとに受け取る情報量の期待値として定義され、以下の式で示される。

$$H(S)=\Sigma P(S_i)\log_2(1/P(S_i)) \qquad (6\text{-}2)$$

H(S)　：エントロピー

S_i　：出力情報

$P(S_i)$：出力情報S_iの生起確率

エントロピーが最大となるのは、その出力情報が等確率に生起するときに限られる。また、エントロピーが0となるのは、出力情報が何であるか明らかであることを意味する。

6．4．2　道路環境とエントロピー

運転者が道路環境から得る情報量を求めた。このとき、道路環境は離散的情報源であり、また道路環境からの出力情報は互いに統計的に独立に生起すると考えた。

視点の解析結果から、距離50mの道路区間の視覚対象物の個数と注視時間を求めた。距離50m の道路区間の視覚対象物を出力情報と考え、各々の出力情報の生起確率を注視時間と区間内の注視時間の合計の比から求めた。この結果を(6-2)式に代入し、エントロピーを計算した。測定路線での平均速度は80km/hであり、車両は毎秒22m進行する。50m区間あたりの注視時間は約2.5secであり、視覚対象は最大8個程度が予測される。

エントロピーが低い場合の道路交通状況は、１個の視覚対象に視点が集中する場合である。エントロピーが高い場合は、道路状況が複雑であり必要な情報が数多く存在する場合である。

エントロピーの計算は、曲線区間と直線区間の二つの区間の測定試験の結果について行った。図6-15は、曲線区間のエントロピーの計算結果であり、図6-16は直線区間のエントロピーの計算結果である。50 mの道路区間は、隣接する区間において25 mの重複があるように設定した。エントロピーの低い区間は、少数の視覚対象物が長く注視される場合（注視時間で1.0sec前後）である。また、エントロピーの高い区間は、被験者が多数の視覚対象物を短く注視（0.3sec前後）する状況を示している。

被験者によりエントロピーの平均的なレベルの差はあるが、４名の被験者に同様なエントロピーの変動が直線・曲線の両方の区間において見られた。この傾向は、道路線形・道路上の構造物・見通し距離（視距）等の道路環境の影響が運転者の情報収集パタンに現れ、結果としてエントロピーにより示されたものと思われる。

6．4．3　運転者の情報収集能力

測定を行った路線の各50 m区間において実現可能なエントロピーの最大値の推定により運転時の情報収集能力の定量的な把握を行った。

エントロピーを最大にするためには、多くの視覚対象物を短時間に等確率で注視すればよい。しかし、各視覚対象物を等しい頻度でしかも等時間注視する状況は現実にはありえない。そこで、視覚対象物とその注視回数及び注視時間を以下のように考えた。

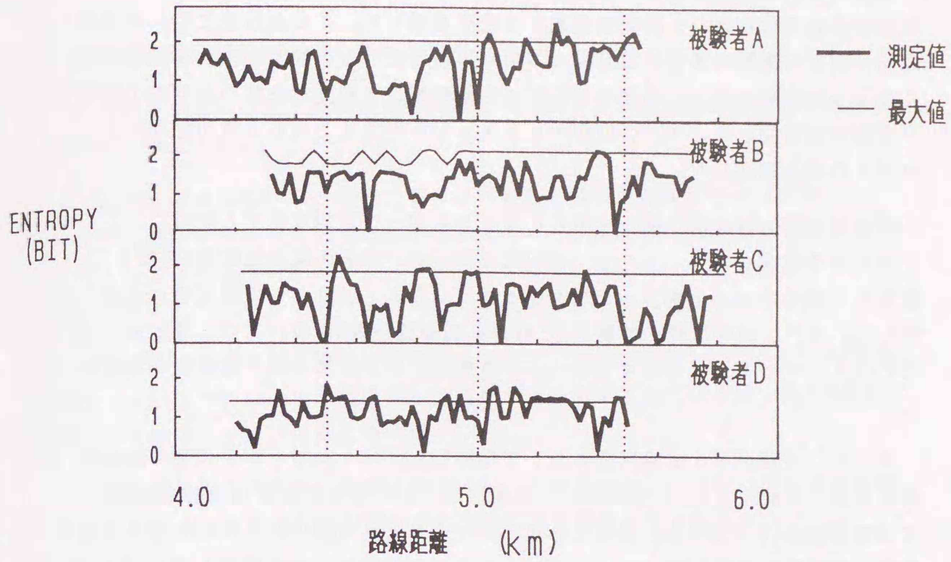


図6-15　曲線区間のエントロピーの変動

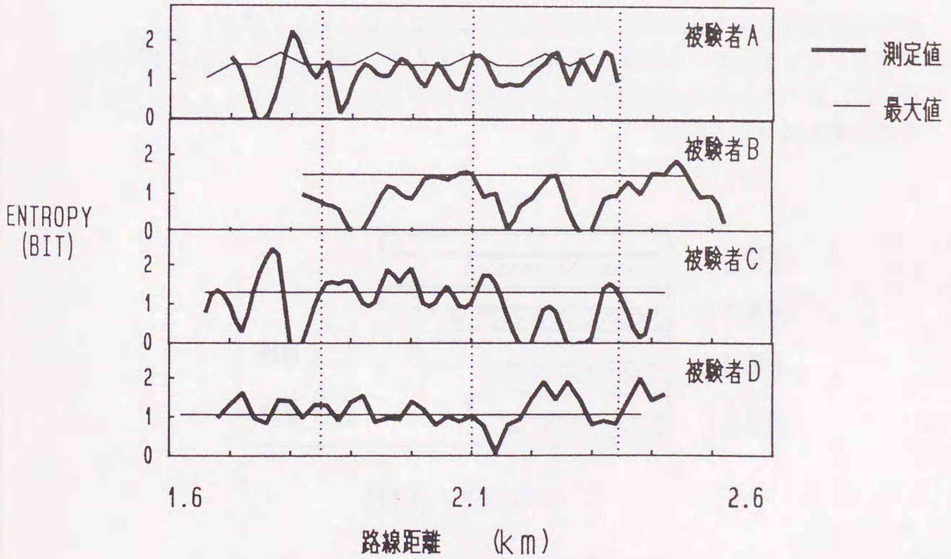


図6-16　直線区間のエントロピーの変動

視覚対象物の頻度分布は、区間全体の測定結果から求めた。注視時間は、視覚対象物の頻度分布に50m 区間を通過する時間を乗じた。この割り当てられた注視時間が視覚対象物の最短注視時間より短い場合には、その視覚対象物を削除する。このような定義により、各視覚対象物の生起確率は（視覚対象物の割り当て時間／区間通過時間）となり、各区間のエントロピーを求めこれを実現可能なエントロピーの最大値とした。

図6-15と図6-16に測定値から求めたエントロピーを太線で示すと同時に、この手法により推定したエントロピーを細線で示した。直線区間の被験者Dを除いて、測定から求めたエントロピーの最大値と推定したエントロピーの最大値はほぼ一致した。また、直線区間の被験者Aと曲線区間の被験者Bにおいては、測定値から求めたエントロピーと呼応するかのように推定したエントロピーの変動が見られた。

さらに、直線区間と曲線区間において推定したエントロピーの平均値を被験者別に比較した結果を図6-17に示す。 直線区間においては運転者は十分余裕をもって情報収集を行っている。このことは、エントロピーの減少からも明かであるが、平均注視時間が曲線区間に比べて長い、また視覚対象物の数と種類も少ないことからも理解される。

曲線区間においては、より多くの情報が必要であるため運転者は速度を低下させるなどの行動により情報収集能力を上昇させていた。多くの情報を得ようとする傾向がエントロピーの結果から示せた。このとき、運転者は注視の認識時間を最小限に近いところまで短縮し、しかも多数の視覚対象を見ることにより獲得する情報量を増やしていた。

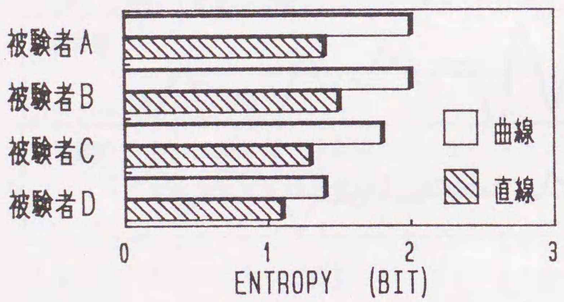


図6-17　曲線区間と直線区間のエントロピーの比較

6．5　まとめ

本章の実験と解析から得られた結果を以下にまとめる。

・運転者の眼球運動と頭部運動を測定し、運転者の３次元視点位置を求めるシステムを確立した。

・３次元視点位置から、曲線区間における運転者の視覚探索パタンを示した。カーブに進入する直前の区間において前方のカーブに関する情報を探るため遠くと近くを交互に見ていた。一方、カーブ区間では、先に得た情報を修正しながら車両を安定して走行させるために比較的近距離のカーブ外側線を見ていた。

・運転者の注視時間を視覚対象物別に求めた。曲線区間においては、４名の被験者とも平均で0.4secの注視時間が測定された。直線区間では平均で約10%曲線区間より注視時間が延びる結果を得た。

・運転者の視点距離を、道路区間別（50 m）に求めた。区間別の平均視点距離を求めた結果、近距離と遠距離を交互に繰り返す傾向が見られた。

・運転者が視覚により道路環境から得る情報を定量化するため情報理論の導入を行った。道路線形・道路上の構造物・見通し距離（視距）等の道路環境により変動する運転者の情報収集パタンをエントロピー値から示した。

・曲線区間と直線区間の情報収集量の違いをエントロピー値で示した。曲線区間において運転者は速度を低下させるなどの行動により多くの情報を得ようとしていた。直線区間で運転者が得ていた情報量は、曲線区間の７割程度であった。

参 考 文 献

(1) 加来照俊、萩原亨：「ビジョンアナライザによる運転者の視線追跡」、テレビジョン学会報告, Vol.9, pp.7-12, 1985

(2) 加来照俊、萩原亨：「運転者の注視点に関する一考察」、日本交通科学協議会総会講演集、Vol.22, pp.190-193, 1986

(3) 萩原亨、米田義弘、加来照俊：「[Vision Analyzer]による運転者の眼球運動」、土木学会年次学術講演会概要集、Vol.42, pp.38-39, 1987

(4) 米田義弘、小室俊一、萩原亨、加来照俊：「自動車運転時における運転者の視線測定」、土木学会北海道支部論文集、Vol.42, pp.335-338, 1987

(5) 萩原亨、小室俊一、加来照俊：「運転者の眼球運動に関する研究：車種（大型車と普通車）による注視点分布の比較」、日本交通科学協議会総会講演集、Vol.23, pp.84-87, 1987

(6) 山田光穂、福田忠彦：「視線情報を用いた画像の客観分析」、NHK技研R&D, No.2,1988

(7) M.Nagata, H.Kuriyama : "Visual Behavior of Novice and Experienced Drivers", SAE Paper 820415, pp.1693-1701, 1982

(8) 大坪治彦、近藤倫明、渋田幸一：「運転中の車速,旋回および頭部回転,眼球回転の同時測定」、交通科学協議会資料、Vol.24,1983

(9) 山田光穂、福田忠彦：「広視野の画面効果：視対象の移動量と視線、頭部の動き特性」、テレビジョン学会全国大会、pp.15-16, 1988

(10) 杉江：「眼球運動系のシステム解析」、電気試験所研究報告、No.693, pp.59-75, 1968

(11) Cohen,A.S.: "Augenbewegungen des Autofahrers beim Vorbeifahrer an unvorheresehbaren Hinder-nissen und auf freier Strecke", Zeitschrift fur Verkehrssicherheit,Vol.22,No.2,1976

(12) Shinar,D., McDowell,E.D. and Rockwell,T.H. : "Improving driver performance on curves in rural highways through perceptual changes", Report Ohio-DOT-04-74, Columbus, Ohio, 1974

(13) Shinar,D.,et al : "Eye Movements in Curve Negotiations.", HUMAN FACTORS, Vol.19,1977

(14) Mourant,R.R.,and Rockwell,T.H. : "Strategies of Visual Search by Novice and Experienced Drivers,HUMAN FACTORS,Vol.14, pp.325-335,1972

(15) 村田隆裕、中村良夫：「自動車運転者の注視点」、交通工学、Vol.5、1970

(16) 村田隆裕：「注視行動の統計的性質」、土木学会論文報告集, Vol.213,pp.55-63,1973

(17) Brummelaar,T.ten : "Where are the kinks in the alignment?", TRB, No.556, pp.35-50, 1975

(18) Shinar,D. : "Psychology on the Road", The Human Factor in Traffic Safety, 1978

(19) J.B.J.Riemersma : "Perception of Curve Characteristics", Vision in Vehicles-Ⅲ, pp.163-171, 1989

(20) T.Jurgensohn, M.Neculau, and H.P.Willumeit : "Visual Scanning Pattern in Curve Negotiation", Vision in Vehicles-Ⅲ, pp.171-178, 1989

(21) N.Osaka:"Effects of Window Size and Eccentricity upon Eye Fixation and Reaction Time in Negotiation of Curves", Vision in Vehicles-Ⅲ, pp.179-186, 1989

(22) Shannon,C.E.: "A Mathmatical Theory of Communication", Bell System Tech. J., Vol.27, pp.379-423, pp.623-656, 1948

(23) Shannon,C.E., Weaver,W. : "The Mathmatical Theory of Communication Univ. Ill. Press, 1949

(24) A.Feinstein :"Foundations of Information Theory", McGraw-Hill Book Co., 1958

(25) N.Abramson : "Information Theory and Coding", McGraw-Hill Book Co., 1963

(26) 宮川洋：「情報理論」、電子通信大学講座、コロナ社、1979

(27) 有本卓：「確立・情報・エントロピー」、森北出版、1980

(28) 宮川洋、原島博、今井秀樹：「情報と符号の理論」、岩波講座　情報科学-4、岩波書店、1983

(29) 笠原正雄、田崎三郎、小倉久直：「情報理論：基礎と応用」、昭晃堂、1985

(30) 大友詔雄、田中幸雄、清藤正：「情報の科学」、富士書院、1989

(31) 木村春彦、大藪多可志：「情報科学概論」、共立出版、1989

7章　新しい視点解析システムの開発

7．1　概　説

本章では、運転者の視点を表示する画像とカメラ映像を合成することにより、視点とカメラ映像内の視覚対象物との関係をより明確にできる運転者の視点解析システムについて述べる。

従来の視点解析システムでは視点の表示画像は頭部カメラの映像と合成された。運転者とカメラの視点座標系の一致の定義があいまいであり、視点と映像の関係が合致しない場合が多かった。

第6章では、運転者の視点を三次元的に求めるシステムを開発し、運転者の視覚的挙動を評価する研究を行った[1)-3)]。しかし、このシステムは、運転者の視点表示画像とビデオカメラ映像を合成するシステムを持たないため、視点が示す視覚対象物の判断が困難であった。

新たに開発した視点解析手法の長所を以下にまとめる。

・車両に固定したビデオカメラの映像と頭部運動を考慮した運転者の視点の軌跡とを合成することができる。この結果、運転者の視点を表示する視点座標系とビデオカメラの視点座標系が一致するため、視点と映像内の視覚対象物の関係が明確になる。

・運転者の3次元視点位置の計算と視覚対象物の位置データの入力により、視覚対象物の判断が座標値の計算から可能となる。また、視点座標系の一致した合成画像を見ることにより、この結果の検証が可能になる。

本章では、新しい視点解析システムの内容について説明し、その解析精度について求めた結果を示す。

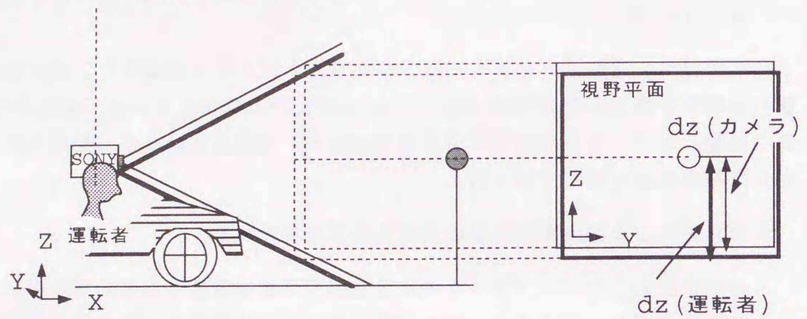
7．2　従来の運転者の視点解析手法の問題点と本システムの特徴

アイマークレコーダに代表される眼球運動測定装置は、被験者の視点をリアルタイムに2次元的に表示し、被験者の頭部に取り付けたカメラの映像と視点を合成表示する装置である。これらの装置により視点の動きと画像内の視覚対象物の関係が判定可能となった。

しかし、これまでの手法では、測定装置が出力した視点と被験者が見た映像を一致させることがかなり困難であった。その理由は、被験者の姿勢にビデオカメラの向きを合わせる作業が合理的にできないためである。

例えば、証明写真を撮るときのことを考える。下を向いてとか少し右を向いてとか姿勢を矯正される場合が多い。このとき、撮影される者は正面を向いてしると感じている。しかし、他者が見たときは必ずしも正面とは言えない。なぜなら、人間には姿勢はどうあれ、映像を真正面に捉える調整機能があるからである。

Case 1 : dz(運転者)≈ dz(カメラ)



Case 2 : dz(運転者)≠ dz(カメラ)

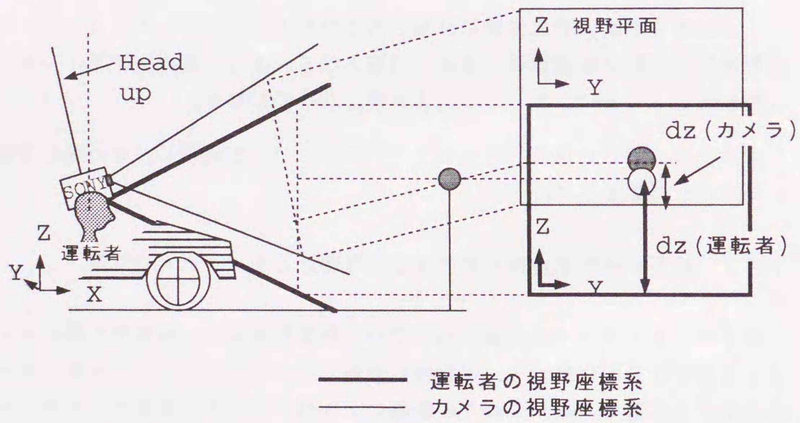


図7-1　視点と視野映像の合成システムの問題点について

運転席での被験者の姿勢にも同じ状況を当てはめれる。頭部が上を向いていても被験者は正面を向いていると感じている場合を考える。ビデオカメラの方向を頭部に対してまっすぐに調整すると、図7-1に示すように被験者が視覚的に感じている位置と映像に合成した視点位置とでは全く異なったものとなってしまう。

したがって、感覚的な視点と映像の関係を再現するためには、ビデオカメラの向きを人間の感覚から調整する必要がある。従来のシステムではこの調整があいまいであったと言える。実験時においてこの調整を行うため、実験により得られたデータの精度にも大きなバラツキが発生していた。

本研究で開発したシステムでは、実験後に視点と映像を合成する手法を応用することから上記の問題点を解決した。第６章では"Vision Analyzer"による眼球運動の測定と画像解析による頭部運動の測定を行うことにより運転者の視点位置を３次元的に求めるシステムについて研究を行った。運転者の視点位置を３次元空間内において求めることができるようになり、定量的な視点解析が可能となった。しかし、視点位置の計算は計算機内での処理であり、その視点位置を表示する画像とカメラ映像との合成ができなかったため、視点と視覚対象物の関係を簡単に処理できない問題点があった。

７．３　３次元空間の基礎的な概念

運転者の視野空間、車載カメラにより撮影される空間は３次元である。一方、ビデオに記録される映像、コンピュータのＣＲＴに表示される視点位置の画像は２次元である。３次元的な位置関係をシミュレーションするため、３次元空間を２次元平面に投影する過程と、その逆に２次元の座標値に奥行き等のデータを加えて３次元化する過程が必要である。座標系の設定及び座標変換において、３次元グラフィックの基礎的な考え方を応用した[4)-10)]。

以下で述べる３次元グラフィックに関する種々の概念は、ＡＮＳＩにより定められたPHIGS (Programmer's Hierarchitical Interactive Graphics Standard) の基本的な考え方に拠るものである[11)-13)]。

７．３．１　３次元グラフィックス

３次元空間を対象とする処理について考える。３次元空間を特徴づけている第３の次元、すなわち奥行きの存在によって、単なる座標値の個数の増加を越えた、原理的に複雑な問題を取り扱う必要が生じてくる。

2次元図形の場合は、定義平面と”視方向”とは独立であり、図形の定義は”視る”という操作とは無関係である。ところが3次元空間では、対象を定義するのと同じ空間の中で”視る”操作が行われるため、両者の間に相互作用が生じる結果、以下のような処理が必要になる。

・3次元の対象を2次元平面へ射影する。
・射影によって失われる奥行きの情報を、適当な表示手段によって回復する。

これらの処理が可能であるためには、もとの3次元対象の定義そのものに、必要な情報がすべて含まれている必要がある。

また、3次元空間における処理が、対象の定義・操作と、その2次元図形としての表示という2つの部分に分けられることがわかる。前者は幾何モデリングと呼ばれ、後者の表示処理を意味するグラフィックとは切り離して考えられる。

7．3．2　3次元空間における座標系

3次元空間を対象とする処理の各過程において、種々の座標系を考える必要がある。ここでは、以下に示す5種類の座標系を用いた。なお、座標系はすべて右手系として扱った。

・モデリング座標系	物体の形を定義している座標系
・世界座標系	物体がおいてある空間の座標系
・視点座標系	世界座標系内の物体を眺める座標系
・正規化投影座標系	投影変換された3次元物体が2次元的に表示される座標系であり、その大きさが正規化された座標系
・装置座標系	出力装置の画面の座標系

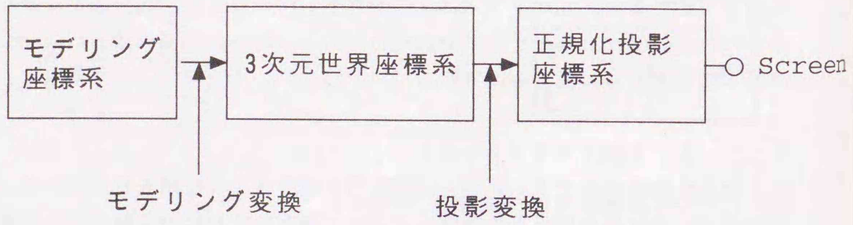


図7-2　座標系と座標変換

7．3．3　座標系の変換

モデリング座標系により定義された3次元物体を世界座標系に設置し、視点座標系から見た形状を画面に出力するまでの座標変換について以下にまとめる。図7-2に座標系と座標変換の関係を示す。

このような変換を行うことにより、2次元の画像を見ても立体的にしかも、実際のカメラで撮影したものと同様な状態で表示することができるようになる。ここでは、普通のカメラで物体を撮影した時の変換に相当する基本的な投影変換だけを考えたシステムを用いた。

（1）モデリング変換

モデリング変換は、世界座標系の中に物体を配置する変換である。3次元のモデリング変換は、物体の平行移動、スケーリング（拡大、縮小）、および回転について行う。

（2）投影変換

投影変換は、世界座標系内の定まった位置にある物体を、ある場所から眺めた場合に、2次元的に表示するための変換である。投影には、平行投影と透視投影があるが、ここでは透視投影を行った。投影中心は眼の位置またはカメラの位置

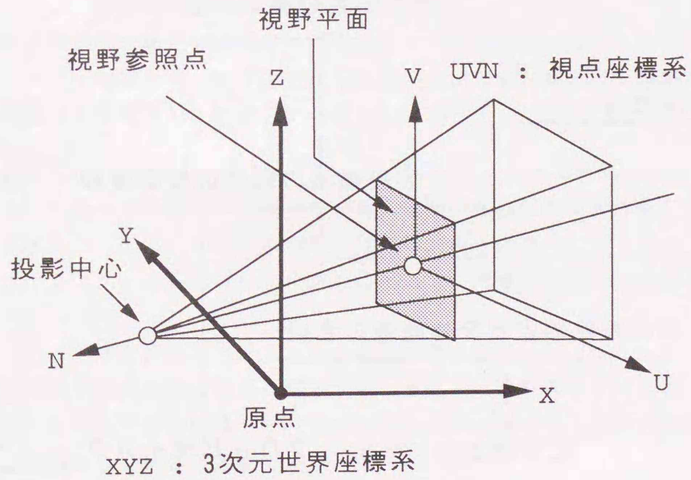


図7-3　世界座標系と視野座標系による投影変換

に相当し、視野参照点はカメラレンズの画角の決定に相当する。また、視野面上に投影された図形は、正規化された投影座標系に変換される。世界座標系に設定された視点座標系のモデルを図7-3に示す。

（３）ワークステーション変換

ワークステーション変換は、正規化投影座標系内の３次元ワークステーションウインドウの内部をパーソナルコンピュータの装置座標系内の２次元ワークステーションビューポートの内部に移す変換である。

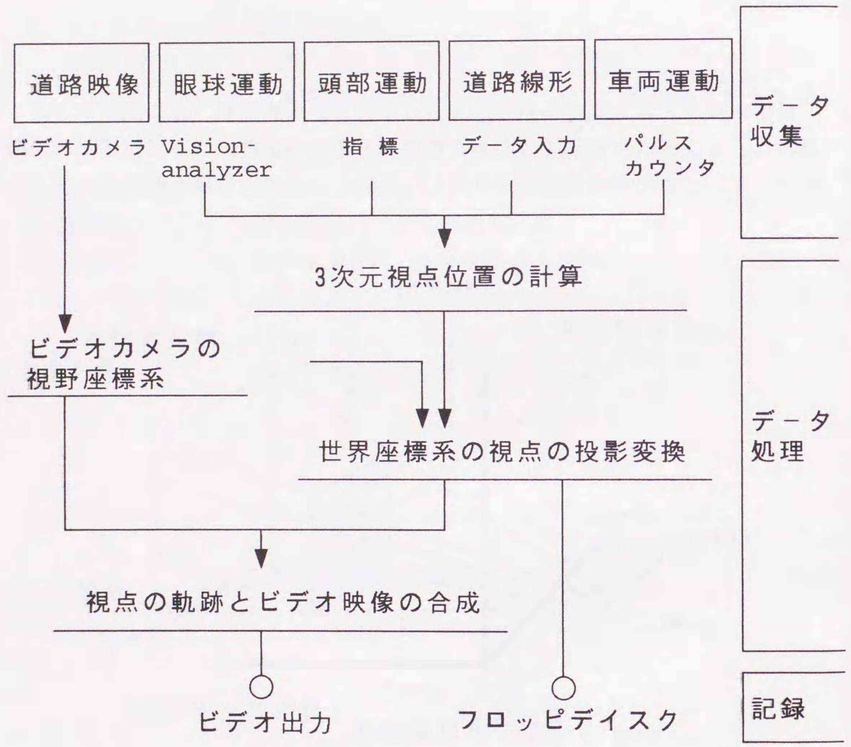


図7-4　新しい視点解析システムの流れ図

７．４　新しい視点解析システム

コンピュータで作成した画像とビデオ映像とを合成するシステムを応用し、新しい視点解析システムを作成した。

"Vision Analyzer"による眼球運動の測定と画像解析による頭部運動の測定を行うことにより運転者の視点位置を３次元的に求めることが可能である。この３次元視点解析システムに、以下に示す２つのシステムを加えて、運転者の視点表示画像とビデオ映像を合成する視点解析システムを作成した。図7-4にシステムの流れ図を示す。

ａ）運転者の３次元視点位置の座標値と道路空間の座標値を入力し、その画像をワイヤーフレームモデルによる２次元の動画像（アニメーション）に変換してリアルタイムに表示する。

ｂ）３次元視点位置を表示する動画像と車載カメラにより録画されたＶＴＲ画像の合成を時間的な同期を計りながら行う。

すなわち、２次元座標値として得られた視点データを３次元化した視点の軌跡をビデオ映像と同一の視点座標系から”視る”ことにより再び２次元表示した。

７．４．１　運転者の視点の３次元化

運転者の眼球運動と頭部運動を測定し、２次元的視点位置を３次元空間に表示した。３次元的視点は、眼球運動測定装置から出力される視点の方向に頭部運動の方向を加えて拡大し、設定した道路空間（図7-5）と交差する点から求めた。

眼球運動は、"Vision Analyzer"により測定した。頭部運動は、運転者の頭部に固定されたカメラの映像に記録された車両先端の指標位置の座標値を読み取ることから求めた。また、これらの測定以外に車両の走行地点を明らかにするため、パルスカウンタによる速度センサからの出力データを記録した。

７．４．２　３次元視点位置を表示する動画像の作成

世界座標系内に視点座標系を定義することにより運転者の３次元視点位置と道路空間を２次元画像に変換した。２次元的に表示された視点位置と道路空間の画像を１画面当り1/30秒の速度で表示した。

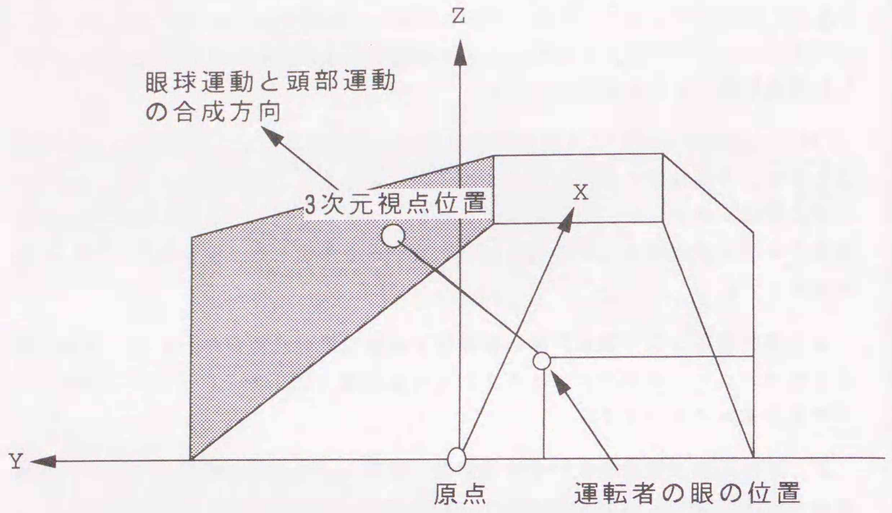


図7-5　3次元視点位置を求める簡易的な手法について

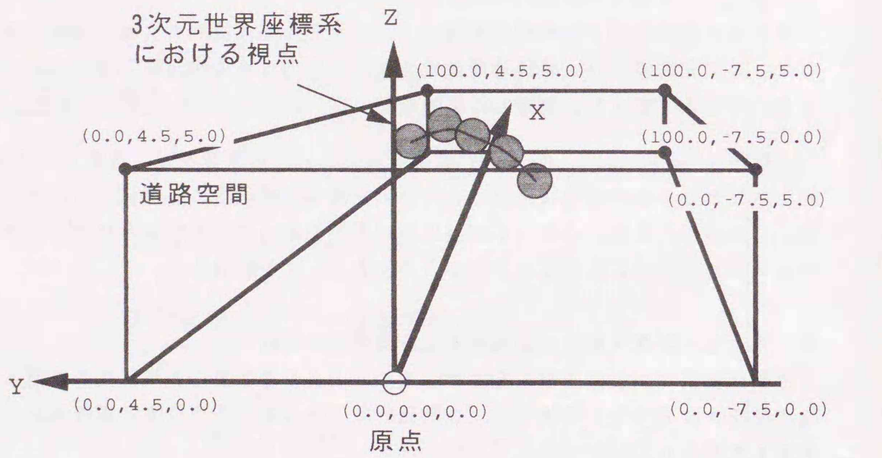


図7-6　世界座標系における視点と道路空間

（1）運転者の3次元視点位置の2次元表示

3次元視点位置と道路空間のモデルを幾何学的に世界座標系に配置する。世界座標系の原点は車両の重心の鉛直下方向と路面が交わる点とした。車両の走行により世界座標系の原点は動くことになるが、車両に固定されているカメラの視点座標系が動かない利点が生まれる。図7-6は測定された運転者の視点の位置と道路空間を世界座標系に示した図である。

運転者の3次元視点位置を”視る”視点座標系の投影中心はカメラ映像との合成を考えるため、車両に固定されたカメラの位置と一致させる。視点座標系は、投影中心と視野参照点の決定により世界座標系内に定まるが、これらは車両の振動により変化する。このため、世界座標系に表示されている運転者の視点を2次元画像に変換するには、視点座標系の投影中心の座標値の時間変動を考慮する必要があるが、通常の走行において車両の振動は周期的に短いと考え、投影中心は固定とした。

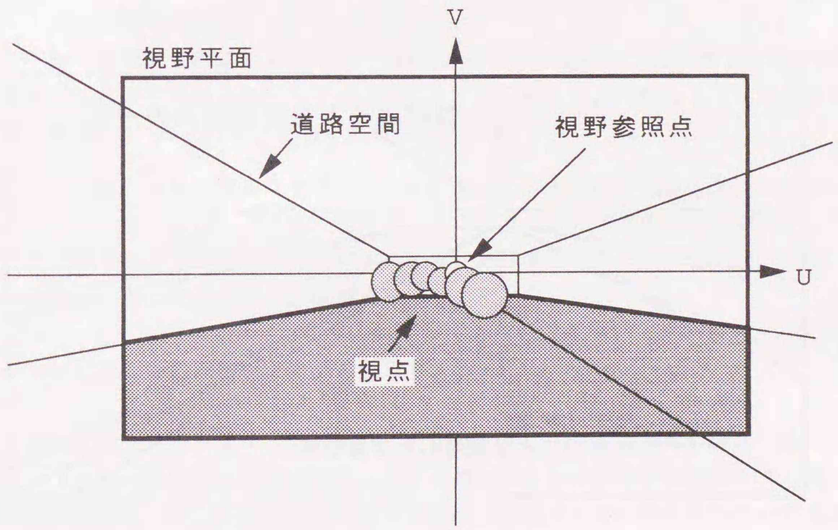


図7-7　視野座標系により投影変換した道路空間と視点

（２）２次元表示による動画像の作成

運転者の３次元視点位置とその軌跡及び道路空間を1/30sec毎に表示するシステムを開発し、動画像の作成を行った。画像の表示を速くするために、Ｃ言語により画像の表示システムを開発した。

運転者の３次元視点の表示と同時に、図7-6に示す道路空間をワイヤーフレームモデルで表示した。道路のセンターライン、上下左右の境界線、及び車両のボンネットと指標である。図7-6の視点位置と道路空間をカメラ位置における視点座標系により表示したのが、図7-7である。

車両に固定されたカメラの映像と合成する場合、視野参照点と投影中心の関係は固定される。すなわち、視点座標系の世界座標系における位置が固定されることになる。このときは、道路空間やボンネットなどの表示は、車両の走行により２次元画面内で動かない。

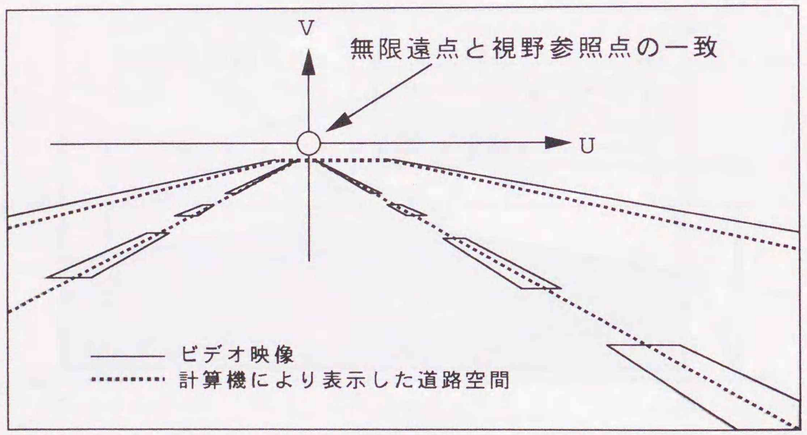


図7-8　ビデオカメラの視野座標系の把握

７．４．３　コンピュータによる動画像とビデオ映像の合成

合成画像を作る場合、コンピュータにより計算された運転者の視点を表示する視点座標系とカメラ映像による視点座標系の一致を行うため、両者の無限遠点が一致する必要がある。また、映像間の時間的な同期を行う必要がある。

（１）カメラの視点座標系と視点を表示する視点座標系との一致

車両に固定されたカメラの視点座標系における投影中心と視野参照点を結ぶＮ軸が、世界座標系のＸ軸に平行であれば、両者の無限遠点の一致は簡単である。しかし、カメラの方向をいつも世界座標系のＸ軸方向と平行に設置することは、不可能である。

そこで、コンピュータにより出力される動画像の視点座標系を変えることにより、視点座標系を合致させた。無限遠点の一致は、動画像により示された道路空間の道路上のラインとカメラから得られた映像の道路のラインが交わらないことから判断した。図7-8に例を示す。路面の白線（実線）とコンピュータの画像の２次元表示によるライン（破線）が無限遠点でほぼ一致していることがわかる。

カメラから撮影された映像は、完全な２次元平面ではない。なぜなら、撮影に使われるレンズが曲率をもっており、そのために発生するひずみがあるためである。しかし、ここでは、これらのひずみによる影響は微小であるとした。

（２）時間的同期

一般に動画像を作成する場合、1/30secより短い時間毎に一枚の静止画像を表示することにより画像が動いているように見せる。従って、一枚の２次元画像を表示するのに、1/30sec以下である必要がある。

ここでは、画像が簡単なワイヤーフレームモデルと視点の軌跡の集合であるため、リアルタイム以上の速度で運転者の視点位置と道路空間を表示できるシステムを開発した。この結果、コンピュータの計算速度を適当に遅くしてリアルタイムに流れるビデオ映像との合成が可能となった。

７．５　新しい視点解析システムの適用

従来の視点解析システムではビデオ映像に示された視点の解釈が困難であったケースにおいて、新しい視点解析システムの開発により理解が可能となった例を合成画像結果から示す。また、新システムにより求めた視点の精度について示す。

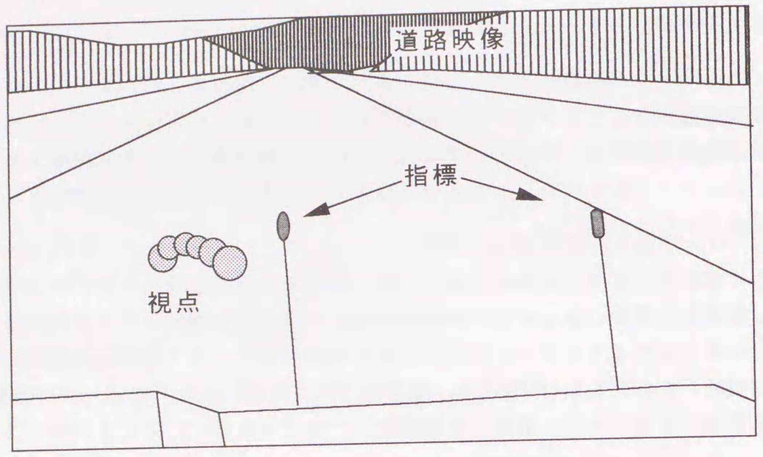


図7-9　頭部カメラの映像と視点の合成映像

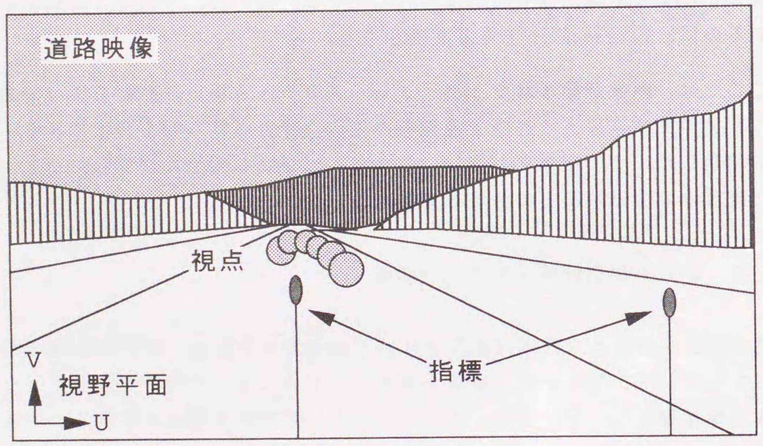


図7-10　新しい視点解析システムを用いた視点と映像の合成

7．5．1　視点位置の再合成例

頭部カメラの視点座標系は、投影中心が被験者の額の位置にあり、被験者の眼の投影中心と高さが異なる。視野参照点も、カメラの角度の設定により変化する。一方、運転者の視点座標系は感覚的なものであり、明確にすることは困難である。したがって、合成映像における視点と視野映像の関係はあいまいである。

図7-9は、約60km/hで直線路を走行している運転者の視点測定結果である。頭部のカメラで撮影した映像は、車両のボンネットの先端が見えている。一方、運転者の視点は、中心より左の中央付近に集中している。よって、運転者は車両の左方向の直前付近の路面を見ていると思われるが、これは感覚的に不自然な視覚挙動である。

そこで、新しい視点解析システムを用いて視点の再合成を行った結果を図7-10に示す。運転者の眼球運動の測定値と頭部運動の測定値から視点位置を３次元的に求め、その視点を２次元的に表示し、車両に固定されたビデオカメラの映像と合成した結果である。図7-10から明らかなように、運転者の道路前方の中央付近の路面を見ていることが読み取れる。

このように、運転者の視点を３次元的に求めた視点位置を表示する画像の視点座標系と車載カメラの視点座標系を一致させて合成表示することにより、運転者の視点と視野映像の関係が明解になることが分かる。

7．5．2　新しい視点解析システムの精度

新しい視点解析システムによる視点位置の精度を角度により評価した。実験中に被験者に指示して見てもらった視覚対象物の位置と視点位置の誤差を４名の被験者による実験から求めた。20例の結果から求めた誤差の平均値と分散値を以下に示す。

平均値：0.48°　　分散：0.24

誤差の平均値が0.5°程度であった。眼球運動と頭部運動の測定精度及び人間の視覚制御系から考えて十分な精度が得られたと考えられる[14)-22)]。

7．6　まとめ

運転者の３次元視点位置を求めビデオ映像に再合成する視点解析システムの開発を行った。従来の視点解析システムの最も大きな問題点であった視点と映像の関係のあいまいさをなくすことに成功した。今後、リアルタイムの測定が可能になるように発展させていく必要があろう。

参考文献

(1)　萩原亨、加来照俊：「運転者の注視点とその評価に関する研究」、土木計画学研究論文集、Vol.6, 1988

(2)　萩原亨：「自動車運転時における視知覚の解明」、佐川交通社会財団研究報告書、 Vol.3, pp.133-147, 1988

(3)　萩原亨、米田義弘、加来照俊：「運転者の視覚探索パターンについて」、土木学会北海道支部論文報告集、Vol.43, pp.443-448, 1988

(4)　川合：「基礎グラフィックス」、昭晃堂、1985

(5)　安居院：「Ｃ言語による３次元コンピュータグラフィックス」、昭晃堂、1987

(6)　守川穣：「PC9801３次元グラフィックス入門」、アスキー出版局、1986

(7)　山口富士夫：「コンピュータディスプレイによる図形工学」、日刊工業新聞社、1981

(8)　Coons,S.A. : "Transformation and Materices", Univ. Michigan Short Course in Computer Aided Design, 1971

(9)　Forrest,A.R. : "Coordinates, Transformations, and Visualization Techniques", Univ. Cambrige, CAD Group Doc.23, 1969

(10)　Ahuja,D.V.and S.A.Coons : "Geometry for Construction and Display", IBM Syst. J., Vol.7, pp.188-205, 1968

(11)　木村文彦：「３次元グラフィックとマン・マシン・インタラクション」、情報処理学会、グラフィックスとCAD研究会資料、16-6, 1985

(12)　木村文彦：「ISOにおけるグラフィックス標準化活動の現状」、情報処理学会、グラフィックスとCAD研究会資料、16-6, 1984

(13)　PHIGS : ANSI X3H3/84-40, 1984

(14)　山田光穂、福田忠彦：「画像における注視点の定義と画像分析への応用」、信学論誌、169-D, No.9, pp.1335-1342, 1986

(15) H.Collewijn and E.P.Tamminga : " Human Smooth and Saccadic Eye Movements during Voluntary Pursuit of Different Target Motions on Different Backgrounds", J.Pysiol., No.351, pp.217-250, 1984

(16) 星宮望、石井直宏、塚田稔、井手英人：「生体情報工学」、森北出版、1986

(17) K.T.Spoehr and S.W.Lehmkuhle : "Visual Information Processing", W.H.Freeman, 1982. 苧坂直行ら、（訳）、「視覚の情報処理」、サイエンス社、1986

(18) 宮崎清孝、上野直樹：「視点」、認知科学選書　東京大学出版、 1985

(19) 池田光男：「眼はなにを見ているか」、平凡社、1988

(20) 乾敏郎：「視覚情報処理の基礎」、サイエンス社、1990

(21) 鳥居修晃：「視覚の心理学」、サイエンス社、1982

(22) R.J.Watt : "Visual Processing:Computational,Psychophysical, and Cognitive Research", Lawrence Erlbaum Associates, 1988, 乾敏郎　他、（訳）、視覚情報処理モデル入門、サイエンス社、1989

8章　吹雪時における運転者の視覚挙動

8．1　概　説

本章では、吹雪時における運転者の視覚挙動について多角的に検討した。吹雪時における安全な走行を確保することは、冬期間の道路交通において大きな課題である。吹雪時における安全走行を確保するための具体的な対策を考える上で、吹雪時の運転者の視覚的な状況を把握することは重要であろう。

ところで、吹雪時に運転者がどこを見ているかについては、興味ある問題ではあったが、測定手法が主な原因となり直接測定できなかった。このため、吹雪が激しくなった状態での運転者の視覚的な評価は、車両の挙動や運転者の報告等から間接的に行う以外方法がなかったと言える[1]。

そこで、第５章でも述べたように"Vision Analyzer"の特性を生かして吹雪の中で視点の測定を実車走行により実施した。実車による測定実験は、国道40号線の稚内市に近接したサラキトマナイ地区で行った。視程距離が200m以下での測定を実施することができた。そして、第７章で開発した視点解析システムを応用し、吹雪時の測定を行い以下の手法により運転者の視覚挙動の評価を行った。

・映像による視点の解析
・視点の移動角速度による解析
・注視挙動による解析
・三次元視点位置による解析
・運転者が得ている情報量による解析

このような結果、運転者が吹雪が強くなるに従ってどこをどのように見ているかについて明らかにすることができた。

8．2　実験条件

吹雪時における運転者の視点の測定を稚内管内サラキトマナイ地区の国道40号線において1988年12月20日から１週間行った。被験者は３名である。約3kmの測定区間を設定し、50回以上測定区間を往復して視点の測定を実施した。第７章で述べた新しい視点解析システムにより測定したデータを解析した[2)-3)]。なお、視程距離および気象状況のデータは、北海道開発土木研究所防災雪氷研究室の協力によるものである[4)-6)]。

8．2．1　測定区間（サラキトマナイ地区）

吹雪時に視点の測定を実施しなければならないので、気象条件として吹雪が多発する区間でなければならない。また、吹雪による視程障害を客観的に評価するための視程計が測定区間の近辺に設置されていることが望ましい。そこで、稚内市街から約5km離れたサラキトマナイ地区の国道40号線を測定路線として選定した。図8-1に選定した測定路線の簡単な地図を示す。

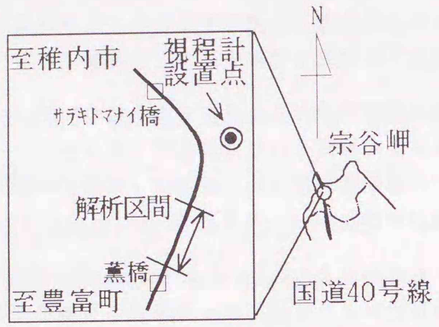


図8-1　吹雪時の実験を実施した路線

宗谷付近一帯は、北海道でも特に風が強く吹雪の多発地帯の１つである。特に、稚内市内から5km程内陸に位置するサラキトマナイ地区は、冬期間の異常気象時、西高東低による季節風などの気象要因と地形要因とが重なりあって視程障害、吹き溜まりなどが発生しやすい。昭和51年度から昭和59年度において通算16回の通行止めがこの区間において発生している。過去、通行止めの多くは視程200m以下、風速10m/s以上の気象条件で発生している。参考までに表8-1に北海道開発局による吹雪による通行止めの基準を示す。

8．2．2　被験者

被験者は３名とした。非常に危険な状態を走行しなければならないため、運転に比較的馴れた運転者を被験者とした。

・被験者Ａ：免許歴30年、大型二種免許等を有しているベテランの運転者
・被験者Ｂ：免許歴5年の運転者
・被験者Ｃ：免許歴3年の運転者

稚内での試験前に数回の視点測定実験を行い、測定装置の装着等に関しては、いずれの被験者もそれほど抵抗がなくなるようにした。

表8-1　吹雪による通行止め基準

規制もしくわ注意 ＼ 理由もしくわ原因	積雪	吹雪
通行止め	除雪終了後の路面降雪が20cm以上および所長の判断（除雪区分第2,3種路線）	視程（日中30m以下、夜間50m以下）、吹溜りの発生状況および所長の判断
速度落とせ	路面降雪 10-20cm	視程約100m以下
通行注意	路面降雪 5-10cm	――
視界注意	――	視程100-200m

注意１：視程は30分平均値
注意２：地吹雪については所長の判断により表示および解除する。

8．2．3　実験に用いた車両

測定実験には、図8-2に示すジープタイプの４ＷＤ車を用いた。一般的に考えるならば、最も視程の悪化に対して弱い乗用車で実験を行うべきであると考えられる。しかし、吹雪の状態で実験を行うため、乗用車では車高が低く、視界が過度に悪化し、危険過ぎる運転状態になる可能性が高い。そこで、車高が高くしかも雪氷路面でも安定して走行可能な車両を試験車とした。

車両には、視点測定機器と電源、カメラ等の機材を載せてある。また、車両の先頭に運転者の頭部の角度を求めるための指標を３本取り付けた。

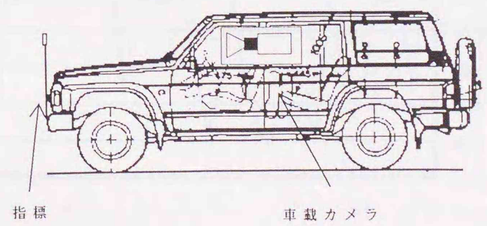


図8-2　実験に用いた車両の概観

8．2．4　気象条件と視程距離の測定

図8-1に示す計測地点において、視程距離、風向、風速、気温について同時に観測されている。視程距離の観測には反射式視程計が用いられている。反射式視程計による視程の測定は、吹雪の場合以下の実験式で求めれる。

$$Vid = 26.33 V0^{(-0.87)} \qquad (8\text{-}1)$$

V0は反射式視程計から出力される電圧値であり、Vidが視程距離である。

本章の中で視程距離の値を用いて吹雪の程度を表現した。ここで、視程距離と吹雪の程度を簡単に説明する。視程距離1000m以上は、ほとんど吹雪は発生していない状況である。視程距離500mから1000mで遠景の山並が見えなくなる程度の吹雪である。視程距離が500m以下になってくると遠方の道路が見えなくなり、200m以下では左右の様子もほとんど分からない状況となる。

1988/12/21，22日の視程距離の変動と時刻の関係を示した結果を図8-3に示す。12月21日には、猛吹雪に近い状態がしばしば発生した。特に11時から12時、及び16時から17時には視程距離は200m以下になった。

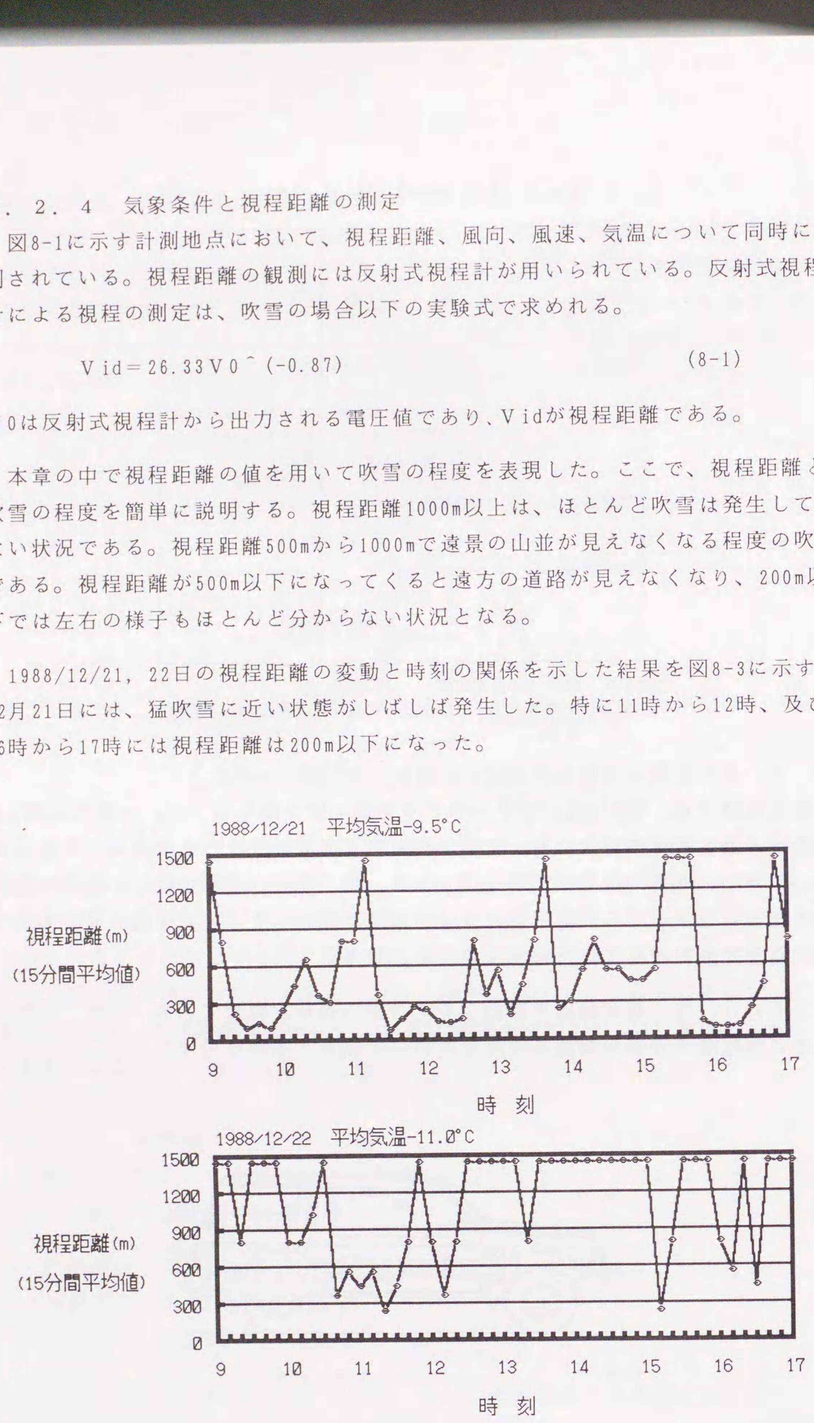


図8-3　吹雪による視程距離の変動

8．2．5　測定データの整理と視点の解析

第7章で述べた手法を用いて視点の3次元視点位置の計算と、視点と映像の再合成を行った。測定した眼球運動、頭部運動、車両の速度のデータ、ビデオ映像の時間的な同期を行い、一つの測定データを作成する。図8-4に一つの測定データが出来るまでの手順を示す。データのサンプリング間隔は、0.1秒である。映像はビデオに記録し、3次元視点位置のデータは計算機に記録した。

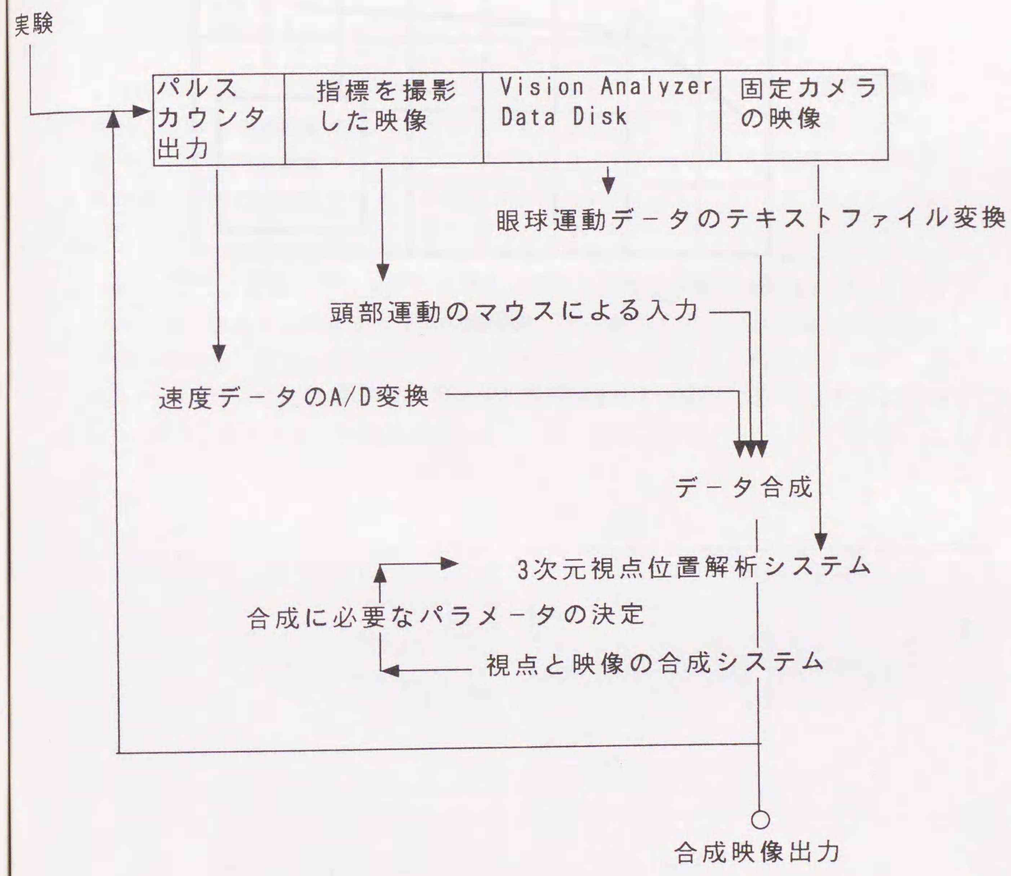


図8-4　測定データの処理システムについて

8．2．6　走行速度と視程距離

図8-5に実験を行ったときの平均速度と視程距離の関係を示す。図中には、北海道開発局により求められた速度と視程距離の関係を示した[4]。視程距離が400m以下になってようやく速度が低くなってくることが分かる。

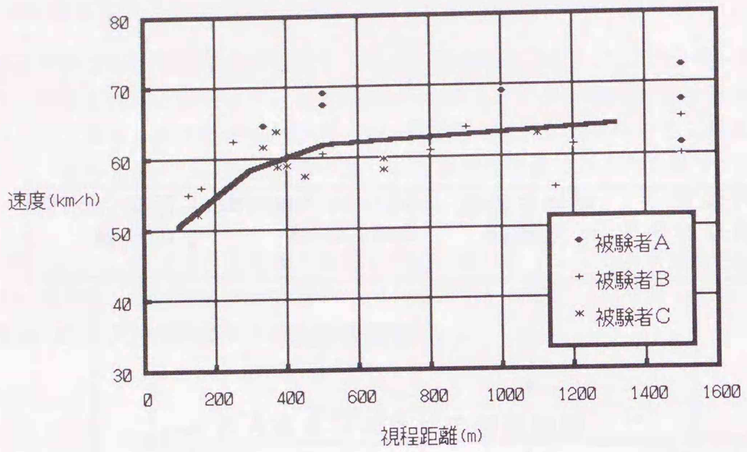


図8-5　視程距離と走行速度の関係

8．3　吹雪の中での運転者の見方

本節では、被験者の視点の動きを映像から定性的に分析した。運転状況として以下の５つの場合を取り上げた。各々の場面において視程距離が長い場合と短い場合の違いを映像からピックアップし、吹雪時の視覚的な挙動の特徴についてまとめた。

・直線を運転しているとき
・カーブを運転しているとき
・先行車に追従しているとき
・対向車とすれ違うとき
・標識を視認するとき

各被験者別に、視程距離が短い場合と長い場合を比較できるようにした。図中の円は視点を示し、線は視点の軌跡である。道路の線形、電柱、背景等を簡単に描いた。吹雪の激しさは、塗りつぶしの点の荒さで表現した。被験者別に視程距離の違いが視点の動きに与える影響をまとめた。

8．3．1　直線を運転しているときの視点の動き

約3kmに及ぶ直線区間を運転しているときの視点の動きと視程距離の関係を検討した。先行車及び対向車がない状況でのデータを選択した。視程距離が短い場合と長い場合を比較し、吹雪が激しくなったときの視点の動きの特徴をまとめた。図8-6から図8-7は被験者A、図8-8から図8-12は被験者B、図8-13から図8-14は被験者Cの視点の動きを示した結果である。

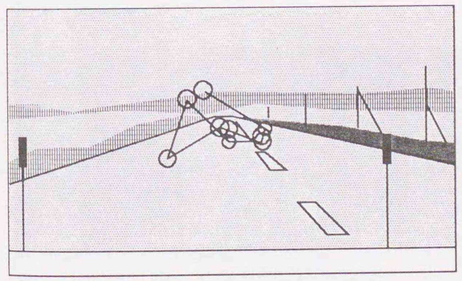


図8-6 直線，被験者A，視程距離1000m
稚内->豊富

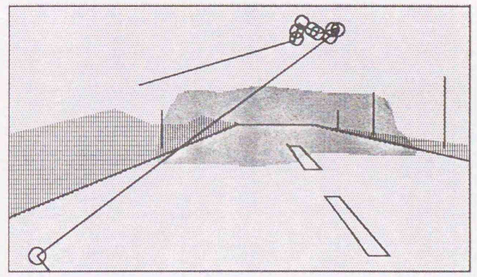


図8-7 直線，被験者A，視程距離170m
稚内->豊富

a）被験者A：視程距離が長い場合（図8-6）、視点は路線全体を遠方まで眺めている動きを示した。一方、視程距離が短い場合、図8-7に示すように上方を見ているケースもあった。吹雪により道路の前方がほとんど見えないため、いくらか先まで見える路側の電柱や除雪用のスノーポールを見ていたものと思える。

b）被験者B：視程距離が長い場合と短い場合の比較を2例示した。図8-8と図8-9は稚内から豊富へ運転した場合の例である。図8-10と図8-11は豊富から稚内へ運転した場合の例である。視程距離が長い場合、運転者の視点の軌跡は道路の延長方向をしっかり捕らえていた。しかし、視程距離が短い時は、道路の左の電柱やブッシュを見たりする場合が多くなった。

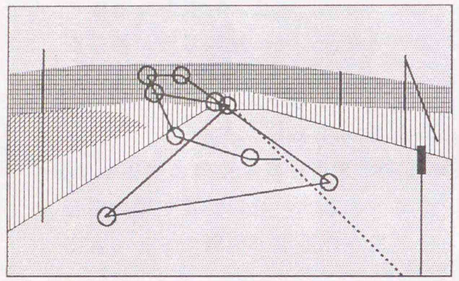


図8-8 直線，被験者B，視程距離1100m
稚内->豊富

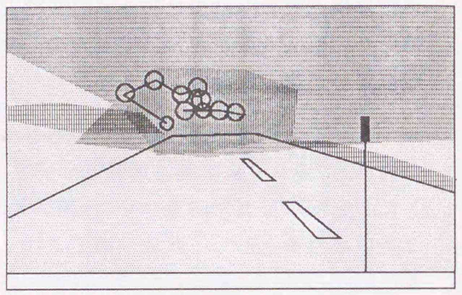


図8-9 直線，被験者B，視程距離160m
稚内->豊富

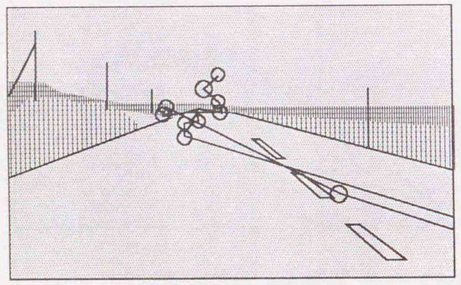


図8-10 直線，被験者B，視程距離1500m
豊富->稚内

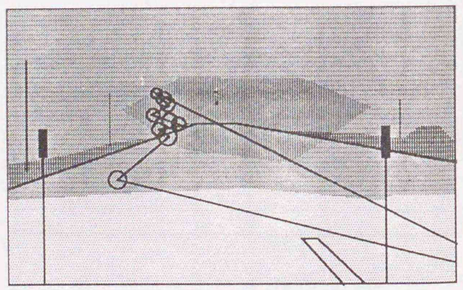


図8-11 直線，被験者B，視程距離125m
豊富->稚内

また、図8-12は突然視界が悪化し、ほとんど何も見えなくなったときの視点の動きである。前方上にある除雪用のスノーポールだけがかろうじて見えたため、そこに視点が集中した。

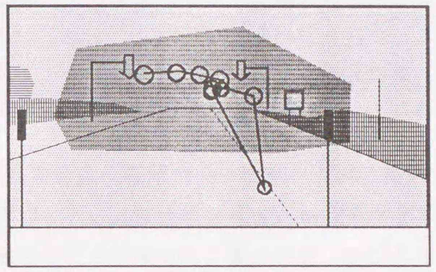


図8-12 直線，被験者B，視程距離250m，豊富->稚内

c）被験者C：視程距離が長い場合の視点の動きを図8-13に、視程距離が短い場合を図8-14に示す。視点の位置が全体に手前になる程度の差しか見られなかった。図8-14は視程距離が335mであり、前の2例と比較してそれほど厳しい条件ではないためと思われる。

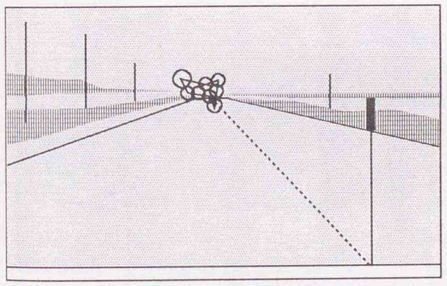


図8-13 直線，被験者C，視程距離670m
稚内->豊富

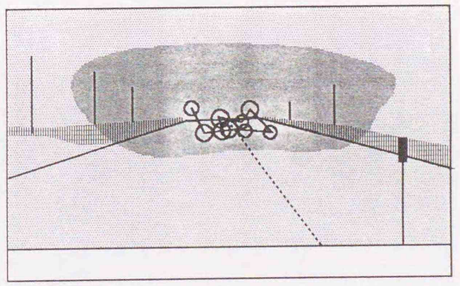


図8-14 直線，被験者C，視程距離335m
稚内->豊富

以上の結果から、直線区間で吹雪いた場合の視点の特徴をまとめた。

・視界の良い場合には見ないような位置にあるものでも、とにかく見える前方の物体に視点が集中した。
・視点の移動する範囲は狭まり、しかもその地点は限られていた。

吹雪時において少しでも前方を確認しやすくするため、自発光ポールの設置や点滅するスノーポールの設置は有効な対策となることが上記の結果から実証されたと言える。ただし、視程距離が200m以下のような場合にも運転者が視認できるような装置でなければならない。また、その設置位置も現在のもののように高い位置ではなく、なるべく路面に近い位置が望ましい。

8．3．2　カーブを走行する場合の視覚探索パタン

カーブ区間を運転するとき、視程距離により影響される被験者の見方を検討した。視程距離の影響のみを検討するため先行車及び対向車のない条件でのデータを解析した。そのため、被験者Aに関しては、条件を満たす実験がなかったので解析から除いた。

a）被験者B：視程距離による視点位置の違いを2例示す。図8-15と図8-16は稚内から豊富方向を走行した場合であり、図8-17と図8-18は豊富から稚内方向を走行した場合である。

視程距離が比較的長い場合（図8-15：視程距離 1150m）、視点は路面と前方の探索に集中している。一方、視程距離が短い場合（図8-16：視程距離160m）、路面を見ても車線と路肩の区別が判然としないため、路側に連続的に設置された矢印の標識を目標にしている。

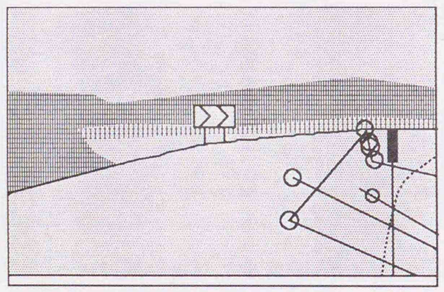


図8-15 曲線，被験者B，視程距離1150m
稚内->豊富

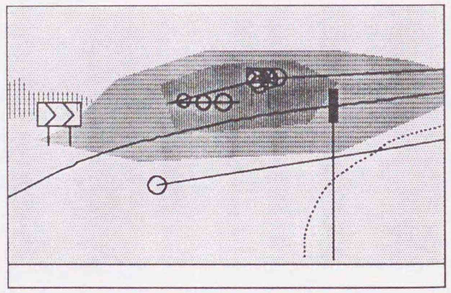


図8-16 曲線，被験者B，視程距離160m
稚内->豊富

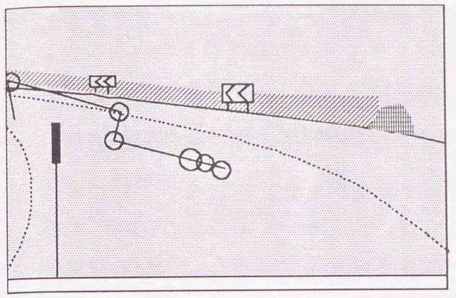


図8-17 曲線，被験者B，視程距離800m
豊富->稚内

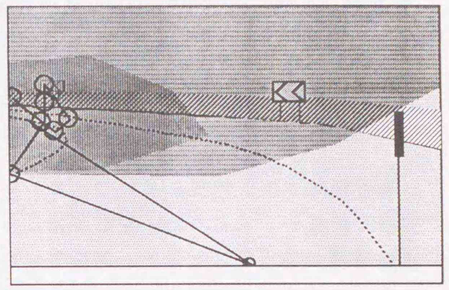


図8-18 曲線，被験者B，視程距離125m
豊富->稚内

図8-17（視程距離：800m）と図8-18（視程距離：125m）からも、ほぼ同様な結論が得られる。視程距離が長い場合、カーブの線形に沿ってスムーズに視点を動かしている。一方、視程距離が短い場合は路肩と走行車線の区別が遠くまで見えなく、繰り返し同じ付近を見ている。

b）被験者C：図8-19は視程距離の長い場合（視程距離：670m）、図8-20は視程距離の短い場合（視程距離：270m）である。被験者Bと同様な傾向が示された。視程距離が長い場合、視点は路面をしっかり見ることにより線形を認識し同時に路面状態を判別している。一方、視程距離が短い場合、線形を路面や進行方向から読み取ることができず、被験者はカーブを示す標識を見ていた。

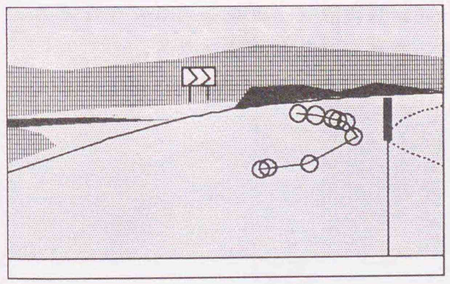


図8-19 曲線，被験者C，視程距離670m
稚内->豊富

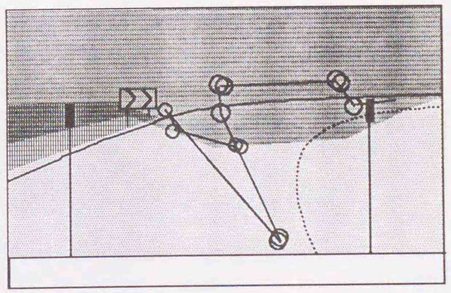


図8-20 曲線，被験者C，視程距離270m
稚内->豊富

視界の悪化によるカーブ進入時の運転者の視覚探索パタンをまとめる。

・視程距離が短いとき、前方の線形を確認する作業が遅れる。カーブを示す標識を利用しながら線形を確認していた。
・視程距離が短いとき、走行車線と路肩の判別に非常に時間が費やされる。視程距離が長いときに行われる路面の判別などの時間は、ほとんどなかった。

視程距離が短い状況において、カーブを示す標識が有効に使われていることが解析の結果から示された。線形がはっきりしない状況で、なんらかの連続的な視線誘導標に相当するものは、運転者にとって非常に有効となろう。今後もより有効な視線誘導標を考案し設置していくべきである。

8．3．3　先行車に追従している場合の視覚探索パタン

吹雪のように視界が悪い場合は、先行車の影響が大きい。ここでは、先行車に追従して運転している場合の視点の動きを示す。路面に載っている雪が多くなかったこと、実験車の車高が乗用車より高いこと等から先行車による雪の巻き上げによる視程距離への影響は若干であった。

先行車がある場合、視程距離が短くなっても被験者の見方は視程距離が長い場合とほとんど同じであった。図8-21に示すように、先行車を中心に、路面や対向車線を見る動作を繰り返していた。そのため、視界が悪化した場合は先行車がある方がないときより安定した視点の動きを示した。

先行車がバスやトラックのような大型車両のとき、雪の巻き上げは非常に大きく、追従している車両が乗用車ならばほとんど何も見えなくなってしまう。しかし、本実験のように吹雪が発生しても先行車の雪の巻き上げが少ない状況ならば、先行車はプラス側の要因となる。したがって、雪の巻き上げを抑えるような車体を開発することは、吹雪時の安全を確保するための有効な手法になる。

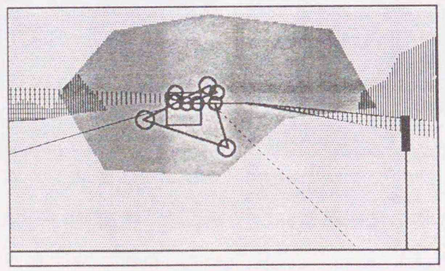


図8-21 追従，被験者A，視程距離540m，稚内->豊富

8．3．4　対向車の視認

対向車が向かってきた場合の被験者の視点の動きを検討する。対向車は雪を巻き上げるため、運転者の視界に与える影響は大きい。直線区間を運転しているときの視点データを分析した。このとき、先行車のない場合に限定した。

視程距離が長い場合と短い場合の対向車を見る視点の動きを図8-22と図8-23に示す。被験者はBである。図8-24は被験者A、図8-25は被験者Cの視程距離が比較的短い場合、対向車が向かってくるときの視点の動きを示している。

視程距離が短い場合は、３名とも対向車・センターライン付近・路肩を短時間に次々と見ていた。吹雪の場合、道路と路肩の判別、車線の判別が非常に困難になる。運転者は走行位置の確認が困難になるが、対向車とすれ違う場合は特に緊張する。また、路面に雪が積もっているときに対向車とすれ違った場合、雪煙で短時間ではあるがほとんど何も見えなくなる場合もある。そのため、上記のようなことがあっても困らないように、車両を車線内に確実に位置させるための視覚

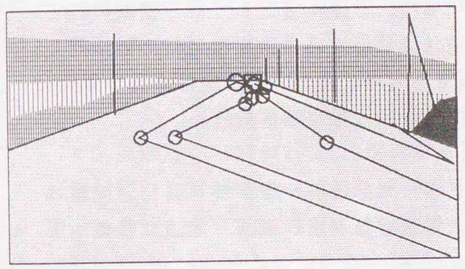


図8-22 対向，被験者B，視程距離1500m

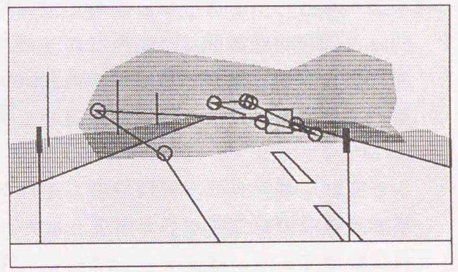


図8-23 対向，被験者B，視程距離125m

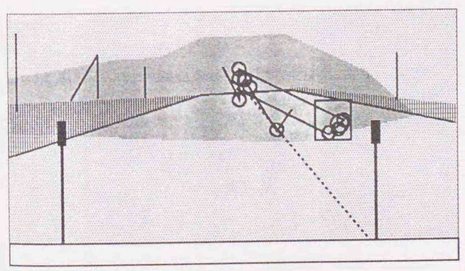


図8-24 対向，被験者A，視程距離500m

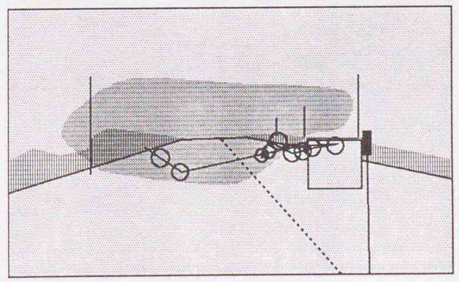


図8-25 対向，被験者C，視程距離270m

的な行動を重視していたと推測される。

対向車の存在によるこのような視覚的な負担を軽減するためには、視界が悪化した場合において車線を何らかの方法により明確にする必要があろう。

8．3．5　標識の視認

被験者が標識を視認するときの見方を視程距離の違いから検討した。右カーブ手前に設置された「この先右カーブ」の矢印の描かれた大型の標識を取り上げた。付近に道路標識が少ないため、この標識は非常に目だつ存在である。被験者は、この区間を通過するときほとんどこの標識を見ていた。

また、本項で示す視認距離は、視点の3次元視点位置から求めたものではなく、視点から見たと判断できたときから標識を通過するまで車両が走行した距離から求めた。

a）被験者A：図8-26に視程距離が長い場合（視程距離1000m）を示す。図8-27に視程距離が短い場合（視程距離170m）を示す。

図からも分かるように、視程距離が短い場合、標識に接近してから標識に眼を向けた。視程距離が長い場合は標識の手前100m付近から標識を視認したのに対し、視程距離が短い場合は標識の手前50m付近であった。また、視程距離が長い場合は、初めて標識を見た後、標識を通過するまでに数回標識に眼を向けた。

一方、標識を見ている時間にも違いが見られた。視程距離が長い場合、標識に集まる視点の重なりが多かった。しかし、視程距離が短い場合、標識に集まる視点は数個であり、標識をちらっと見る程度であった。

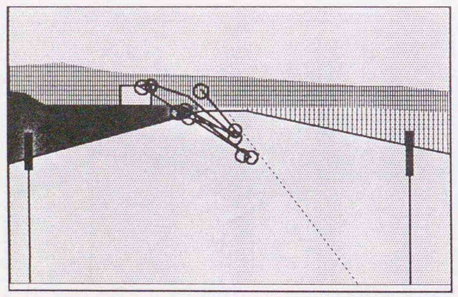


図8-26 標識，被験者A，視程距離1000m

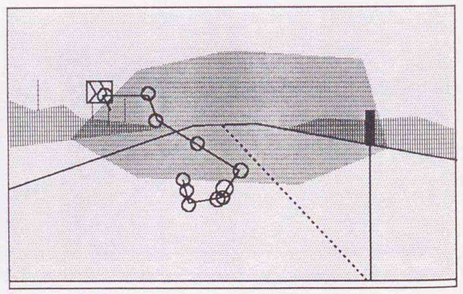


図8-27 標識，被験者A，視程距離170m

b）被験者B：図8-28に視程距離の長い場合（視程距離1500m）を示す。図8-29に視程距離の短い場合（視程距離160m）を示す。視程距離が長い場合、標識の手前150m付近から標識を視認していた。また、標識を長く注視していた。一方、視程距離が短い場合、標識の手前50m付近で初めて標識に眼を向けた。しかも、標識を一瞬見たあと、すぐに視点が移動した。

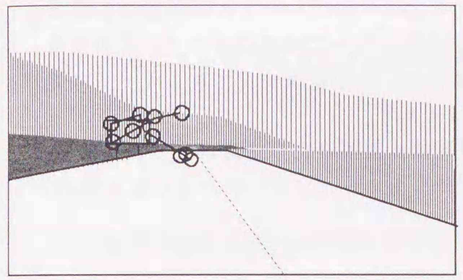


図8-28 標識，被験者B，視程距離1500m

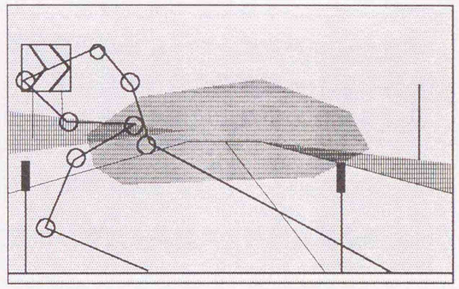


図8-29 標識，被験者B，視程距離160m

c）被験者C：図8-30に視程距離が長い場合（視程距離1100m）を示す。図8-31に視程距離が短い場合（視程距離150m）を示す。視程距離が長い場合、標識の手前100m付近から標識の内容を読むようにじっくり視認していた。一方、視程距離が短い場合、50m付近から標識を視認し、その時間も短かった。

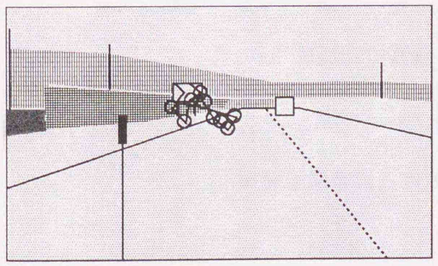


図8-30 標識，被験者C，視程距離1100m

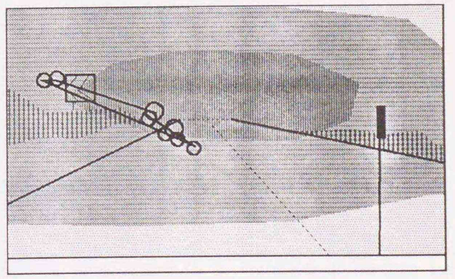


図8-31 標識，被験者C，視程距離150m

以上の結果をまとめると、

・視程距離が短くなると標識を視認する地点は、標識に接近した。視程距離が200m以下の場合、標識を見た位置は50m以内であった。図8-32に標識を見た地点と標識間の距離を視程距離別に示した。

・視程距離が長い場合、標識をゆっくり見ており、標識を通過するまでに複数回見ていた。しかし、視程距離が短くなると標識を見る時間は0.2秒以下になり、見る回数も1-2回であった。

ところで、道路標識の大切な役割として気象条件の悪いときに運転者の判断を助けることが挙げられる。視程距離が短い場合において標識に要求される条件として、0.2sec程度でその内容を理解できること、及び標識を見てからカーブに進入するまでの距離と時間を考慮する必要があろう。

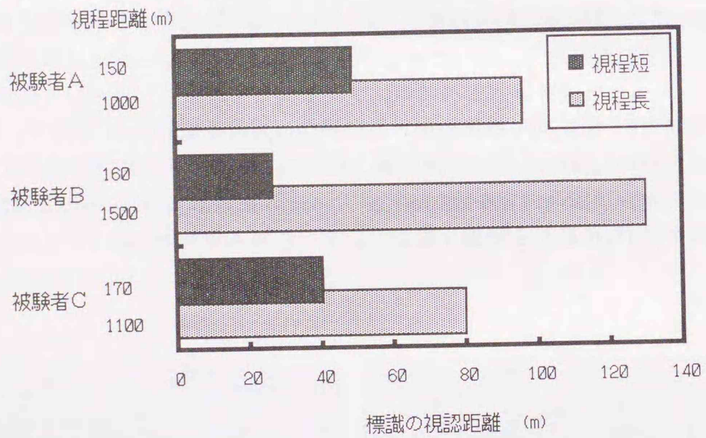


図8-32 標識を見た地点と標識間の距離

8．3．6 吹雪時の運転者の見方についてのまとめ

吹雪により視程距離が短くなったときの運転者の見方を、5つの運転状況を取り上げ分析した結果をまとめる。

・先行車や対向車がない直線路を走行するとき、運転者はとにかく見えるものに視点を集中させた。

・カーブ区間を走行する場合、視線誘導標を有効に利用していた。

・走行車線と路肩の判別に非常に時間が費やされた。このため、視界が良いときに行われる路面の判別などの時間が減らされていた。

・先行車による雪の巻き上げが少ない状況において、先行車がある方が視点の動きは安定していた。

・路肩と走行車線及び走行車線と対向車線の区別が明確でないため、運転者は対向車を見ると同時にセンターラインや路肩を視認していた。

・標識を視認する地点は標識に非常に接近し、標識を視認する時間は短くなった。

本節では、視程距離の違いが視点の動きに与える影響を分析した。視程距離が短い場合、突然前方に視覚対象物が運転者の前に出現する。視覚対象物を視認する場合、運転者は短い距離で判断及び認識を迫られていた。

一方、視程距離が長い場合、遠い地点から必要な視覚対象物を繰り返し視認していた。路線全体を一様に探索する視覚的な挙動が多かった。

8．4　吹雪時の視点移動角速度と３次元視点位置

吹雪時の運転者の視点を視点移動角速度と３次元視点位置から評価した。このような定量的な評価を可能とするために、測定条件と区間を限定した。図8-1に示す直線区間において先行車と対向車のない200m区間を各々の実験から選択し評価の対象とした。その結果、被験者AとCは10回、Bは7回の測定を解析の対象とした。

また、吹雪の程度を、視覚的に大きく３つのレベルに分類した。吹雪の程度を明確に捉えることは難しく、視覚的な状況から吹雪の程度を大きく分類し解析したほうがより適当であると考えた。

吹雪がほとんど発生していない状況、遠方の山が吹雪により見えなくなる状況、近くの道路とその周辺しか見えなくなる状況の３つに分けた。さらに直前すら見えない状況が考えられるが、実験が不可能であったためここでは考えない。各々の状況に相当する視程距離値の範囲を表8-2に示す。視程距離値別の測定データをこれら３つの視程レベルに分類した。各被験者の視程レベルには、2回から4回の測定データが含まれている。

表8-2　視程レベルと視程距離値

視程レベル	内　　容
A	吹雪が発生していない状態
B	500m≦視程距離＜1000m
C	200m≦視程距離＜ 500m

8．4．1　視点の移動角速度による評価

視程距離の違いが視点の移動角速度に与える影響を求めた。視程距離が短い場合、定性的な分析からもわかるように、突然前方に視覚対象物が運転者の前に出現する。視覚対象物を視認する場合、運転者は短い距離で判断及び認識を迫られるため、通常より長い注視時間が必要になろう。このため、視程距離の長い場合に比べて眼球運動に含まれる5deg/sec以内の移動速度の成分が多くなると推測できる。

一方、視程距離が長い場合、比較的遠い地点から必要な視覚対象物を繰り返し視認しており、特に長い時間をかけて注視しなくても視覚対象物が何でありその様子がどうであるかを認識できる。従って、遠くを一様に探索するための視覚的な仕事が増えるため随従運動成分の占める確率が高くなると推測される。図8-33

から図8-35に視程距離と視点移動角速度の構成率の関係を示す。

ａ）被験者A：　0- 5deg/secの構成率は、視程距離800m以下において急激に増加していた。　6-30deg/secの構成率は、視程距離が短くなるにつれて若干構成率が低下した。31-　deg/secの構成率も、同様であった。

視程距離が短くなると物体の移動を追いかけていた随従運動、跳躍運動が減少し注視の比率が高まった。視程距離が短くなるにつれて短時間内の物体の認識が困難となるため注視時間がより多く必要となり、短い移動速度の比率が高まるものと思える。

ｂ）被験者B：　0- 5deg/secの構成率は、視程距離が短くなるにつれて助々に上昇し、200m以下の場合において急に構成率が高くなった。6-30deg/secの比率については、500m程度までは視程距離の低下に伴い構成率が増加した。500m以下の場合は、急激に減少した。31-　deg/secの構成率は、視程距離が短くなるに従い減少した。

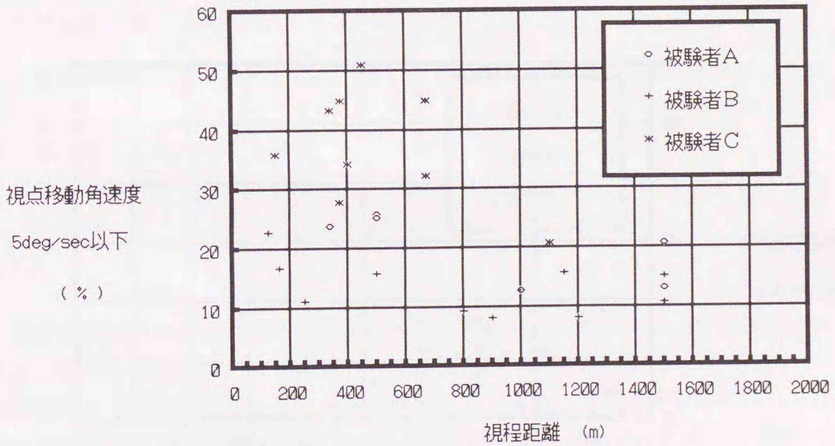


図8-33　視点移動角速度 5deg/sec 以下の時間構成率

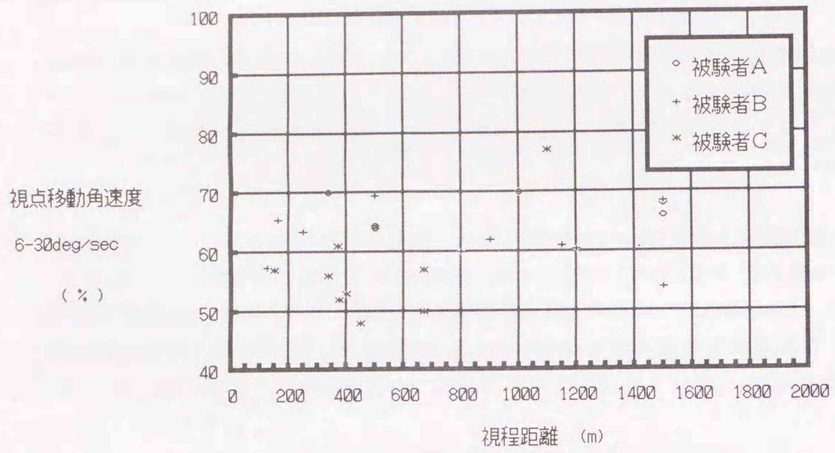


図8-34　視点移動角速度 6-30 deg/sec の時間構成率

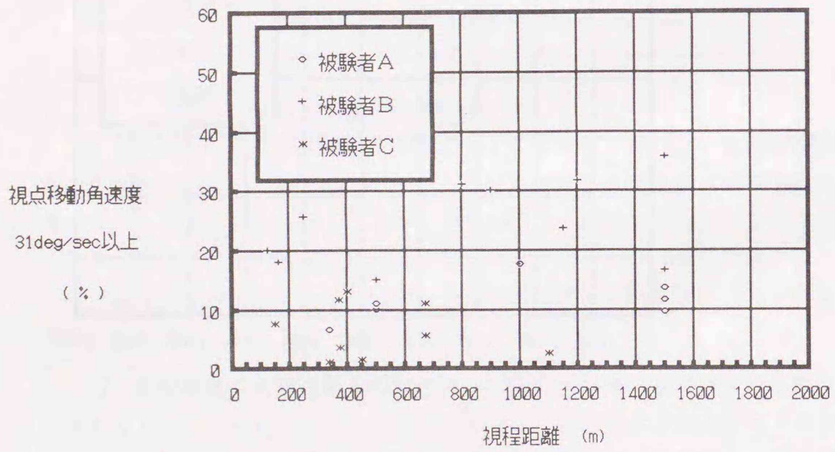


図8-35　視点移動角速度 31deg/sec 以上の時間構成率

視程距離の長い場合、他の2名に比べて随従運動の構成率が低く、跳躍運動の構成率が高くなった。非常に大きく眼球を動かしていたと言える。また、視程距離が短くなった場合、全体的に眼球運動の速度を減らし、注視の時間を長くしていた。

c）被験者C：視程距離が400mまでは、5deg/sec以下の構成率は視程距離が短くなるにつれて高くなった。しかし、400m以下の視程距離の場合、逆に構成率が低くなった。6-30deg/secの構成率は、400mまでは低くなる傾向を示した。それ以下の視程距離の場合には若干増加した。31- deg/secの構成率に関しても、同様の結果を得た。

視程距離が長い場合、被験者Cは随従運動を中心に運転していた。視程距離が短い場合、注視運動を増加させていた。

被験者の視点の移動角速度を注視・随従・跳躍運動に分類し、視程距離による影響を評価した結果について以下にまとめる。

・運転している状態では、眼球運動の50%以上が随従運動であった。これは、運転において絶えず移動する物体を追跡しているためと思われる。

・視程距離が短くなるにつれて短時間内の物体の認識が困難となるため注視時間がより多く必要となり、短い移動角速度の比率が高まる。特に視程距離が800m以下の場合、特に上昇する。

・視程距離が短くなるにしたがって、随従運動や跳躍運動の構成率は低下した。

8．4．2　注視点による評価

次に、注視挙動による評価を行う。注視点は、第3章で示した定義にしたがって求めた。

（1）注視時間による評価

各被験者の平均注視時間を視程レベル別に図8-36に示す。また、解析区間における注視点の個数について視程レベル別に図8-37に示す。被験者A,Bの場合、平均注視時間は視程距離が短くなってもほぼ一定であるが、注視点の個数が増加した。被験者Cの場合、視程距離が短くなると注視時間は長くなるが、注視点の個数はほぼ一定であった。よって、視程距離が短くなった場合、何れの被験者も注視成分の全体に占める時間的な割合が増えたと言える。

の全体に占める時間的な割合が増えたと言える。

視程距離が短い場合、一度の注視では視覚対象物を認識できないため、

・同じ視覚対象物を短い時間内で繰り返し注視する。
・一回に注視する時間を延ばして視覚対象物を確実に認識する。

の２種類の注視パタンが示されたと言える。

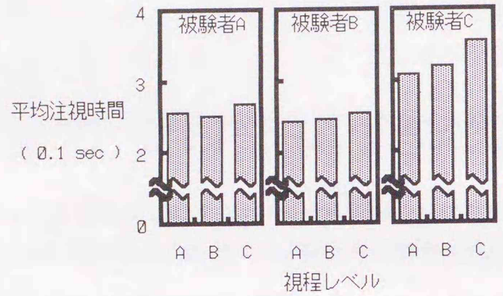


図8-36　視程レベルと平均注視時間

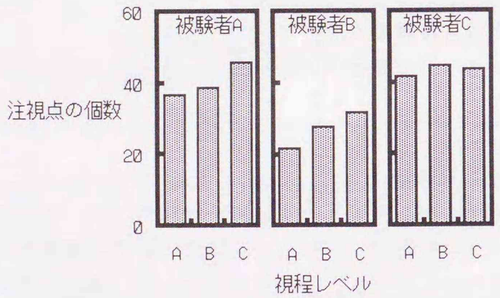


図8-37　視程レベルと注視点の個数

（２）注視点間の移動角速度による評価

注視点間の移動角速度を、視程レベル別に求めた。図8-38に、注視点間の移動角度を、図8-39に移動角速度を示す。視程距離によりほとんどの場合移動角度、移動角速度とも小さくなっていることが分かる。３名の被験者とも、吹雪が多少でも発生すると急激に注視点の移動角速度と移動角度を小さくした。

注視時間の結果と同様に、視程距離が短い場合、あいまいな映像から情報を得るために繰り返し前回の注視点と近い地点を注視する必要があるためであろう。角速度の速い跳躍運動や随従運動時の認識レベルが視界がよい場合に比べて極端に低下するために、角運動の小さい注視パタンになると推測される。

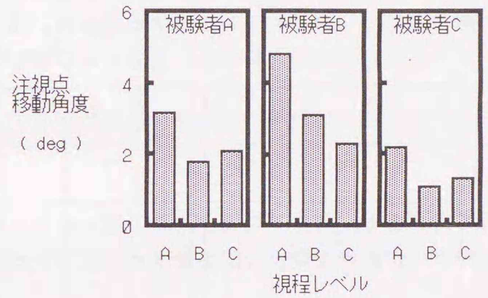


図8-38　視程レベルと注視点移動角度

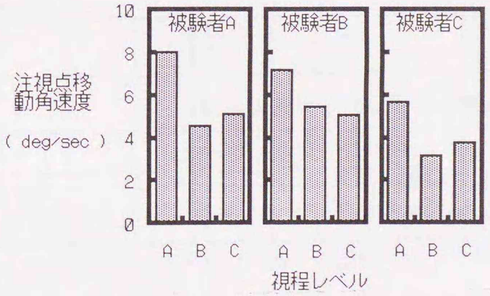


図8-39　視程レベルと注視点移動角速度

8．4．3　視点の分布と位置による評価

視程の違いによる3次元的な視点の分布と位置を比較した。視点の3次元的位置は、第7章で説明した手法により求めた。

吹雪時のような視程距離の短い場合、運転者にとって視覚的に判別可能な視覚対象物は減少すると思われる。また、遠くから視覚対象物を視認できないため、接近した状態で短時間に物体の判別を行なわなければならない。よって、視程距離の短い場合、特定の視覚対象物に視点が集中する傾向を示すと考えられ、視点位置は運転者に比較的近い地点になると予想される。

一方、視程距離が長い場合、運転者は遠距離から多くの情報を摂取することが可能である。また、運転者自身に接近してくるように見える道路線形や対向車を何回も繰り返し見ることが可能である。従って、運転者は自分の前方に広がる道路空間全体を一様に眺めるような視覚的挙動を示すと思われ、視点の分布は道路空間全体に分散し、その位置は比較的運転者から遠方になると予測される。

以下のような解析を行い吹雪時における運転者の視覚探索パタンを視点の分布と位置から検討した。

・左右方向、進行方向、上下方向の平均視点位置。図8-40から図8-42に被験者別に視程距離と各方向の平均視点位置との関係を示す。図中の点線は被験者の眼の位置を示している。

・左右方向、進行方向、上下方向の視点の分散値。図8-43から図8-45に被験者別に視程距離と各方向の視点の分散値との関係を示す。

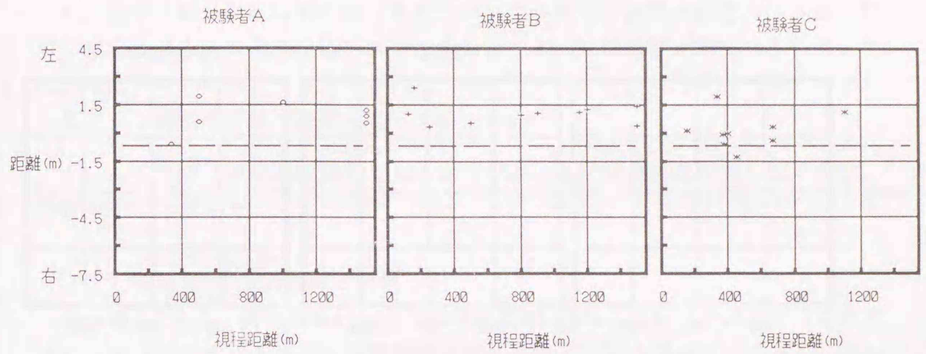
・注視点の視点分布と平均視点位置。図8-46に視程距離が極端に異なる場合の注視点の分布を被験者別に示す。図8-47に視程レベル別に注視点の平均視点位置を示す。

これらの解析を被験者別に行い以下の結果を得た。

（1）被験者Aの視点位置と分散

被験者Aの場合、視程距離が短くなるにしたがって視点の位置は運転者の眼の位置と同位置の真正面の付近（無限遠点に近い付近）に集中した。

a）左右方向：視程距離が短くなるにしたがって左右方向の平均視点位置が運転者の正面に接近する傾向が読み取れる。また、注視距離が短くなるに従って分散が小さくなった。



（注）　図中の破線は運転者の真正面を示す。

図8-40　左右方向の視点位置と視程距離

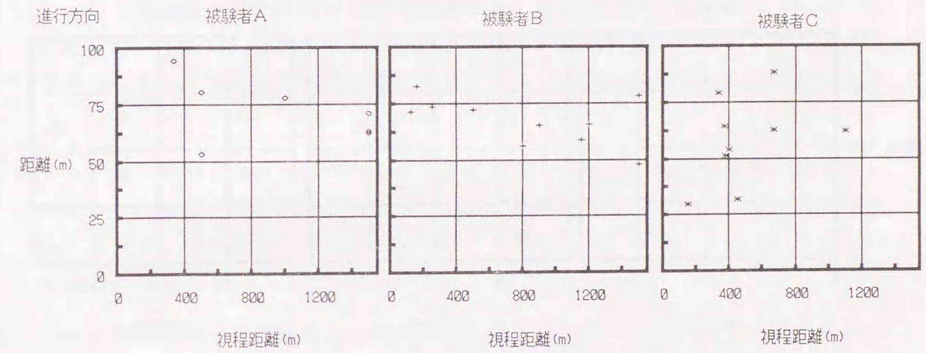
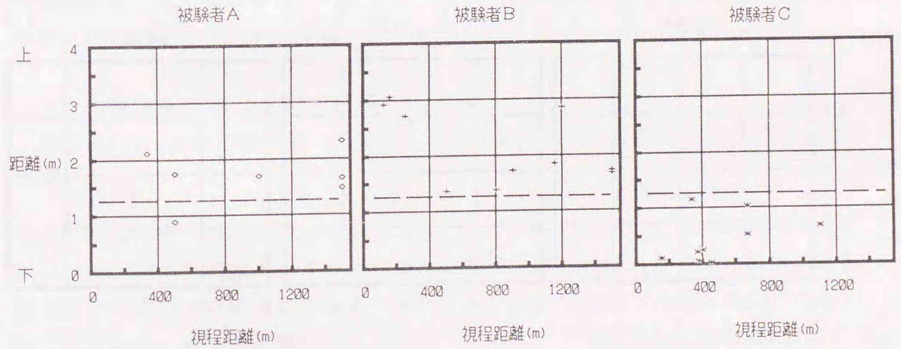


図8-41　進行方向の視点位置と視程距離



（注）　図中の破線は運転者の真正面を示す。

図8-42　上下方向の視点位置と視程距離

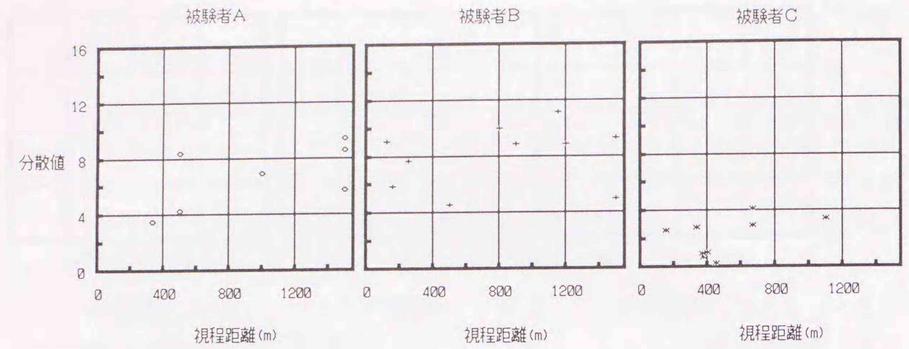


図8-43　左右方法の視点の分散値と視程距離

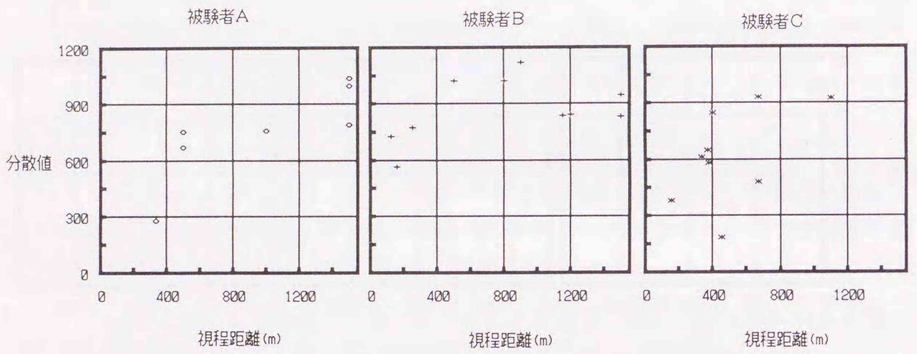


図8-44　進行方法の視点の分散値と視程距離

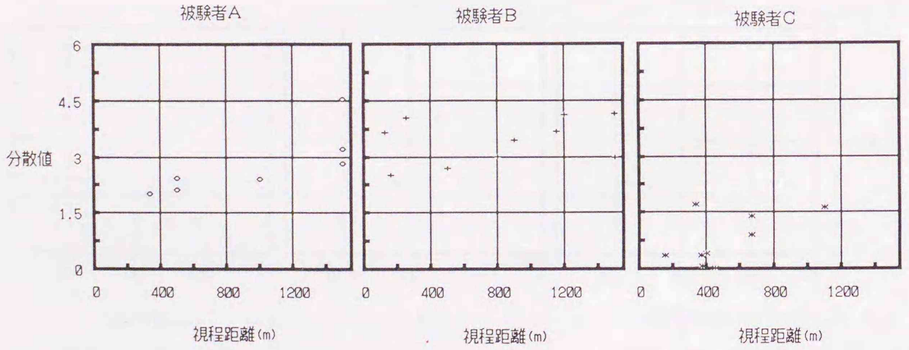


図8-45　上下方法の視点の分散値と視程距離

b）進行方向：視程距離が短くなるにつれて平均視点位置が前方になる傾向を示した。進行方向の視点位置分布を求めたところ、視程距離が短くなるに従って、視点位置が100m以上となる比率が高くなっていた。また、視程距離が短くなるにしたがって視点の分散は小さくなっていった。

c）上下方向：視程距離が短くなるにしたがって、視点位置は若干低くなり、分散も小さくなった。

（2）被験者Bの視点位置と分散

被験者Bの場合、視程距離400mまでは被験者Aと同様に運転者の真正面（無限遠点）に視点が集中する傾向が視程距離が短くなることから現れる。しかし、400m以下に視程距離が短くなった場合、視点位置は運転者の左側の上方向にある電柱や除雪用の標識等に集中した。

a）左右方向：視程距離が300m程度までは、徐々に運転者の位置（-0.4m）に接近した。しかし、視程距離が200m以下の場合、視点位置は運転者より左側の位置になった。また、視程距離が短くなるに従って、視点は集中する傾向が示された。

b）進行方向：視程距離が短くなるに従って、進行方向の視点位置が遠くなっていった。また、視程距離が800mまでは視程距離が短くなるにしたがい分散が大きくなった。800m以下の視程距離の場合、分散は視程距離により小さくなる傾向を示した。

c）上下方向：視程距離が400mまでは、運転者の眼の高さの位置に徐々に近づていった。しかし、視程距離が400m以下になった場合、それまでの傾向とは異なる極端に高い視点位置を示した。また、視程距離400mまでは分散が減少する傾向を示した。400m以下の視程距離の場合には、分散値は高くなった。

（3）被験者Cの視点位置と分散

被験者Cは、視程距離が短くなる場合、運転席から近い距離の路面に視点を集中させた。

a）左右方向：視程距離が短くなるにつれて、左右の平均位置が運転者の正面(-0.4m)に近づく傾向が示された。また、視程距離300m付近までは、視程距離が短くなるに従い、分散値は小さくなった。しかし、それ以下の場合はこのとき一例しかないが、逆に分散値が大きくなった。このような現象は、被験者Bにおいて

も示された。

b）進行方向：他の2名の被験者とは逆の傾向を示した。視程距離が短くなるに従って視点位置が運転者に急激に近くなった。また、分散値は、視程距離が短くなるに従って小さくなった。

c）上下方向：視程距離が短くなるに従い、視点位置が低くなった。また、視程距離が短くなるに従い、分散は小さくなった。

（4）注視点の位置

図8-46に極端に視程距離の異なる場合の注視点の分布を被験者別に示す。図8-46の上段は吹雪が発生していない場合の結果である。被験者は前方に広がる道路空間全体を一様にながめるような視覚的挙動を示し、注視点は道路空間全体に分散した。一方、図8-46の下段に視程距離の短い場合を示す。特定の視覚対象物に注視点が集中し、注視点の分散が少なくなる傾向を示した。

さらに、図8-47に被験者別の注視点位置の平均値を前後方向、左右方向、上下方向に分けて求めた結果を示す。吹雪が発生していない場合（視程レベルA）は、比較的三名とも似通った地点を見ていた。しかし、視程距離が短くなるにつれて各々全く異なる注視点の位置となった。被験者による注視点の位置の違いを以下にまとめる。

被験者Aは、視程距離が短くなるにつれて注視点を前方の正面に集中する傾向を示した。被験者Bは、視程レベルCになった場合、注視点位置を左上方向に集中した。ちなみに、左上方向には、電柱・除雪用ポール等がある。被験者Cは、視程距離が短くなるにつれて注視点を車両の右側、対向車線側の路面に集中させる傾向を示した。

（5）視点の位置と分散による解析結果のまとめ

対向車および先行車のない片側1車線の直線路を走行する条件下での視程距離により変化する運転者の視点位置を左右方向、前後方向、上下方向に分けて被験者別に検討した結果をまとめた。

・視程距離が短くなるにしたがって視点位置は集中する。しかし、集中する位置は被験者により差が見られた。

・被験者Aは、視程が短くなることにより運転者の真正面いわゆる3次元でいう無限遠点に近い付近に視点が集中する傾向を示した。

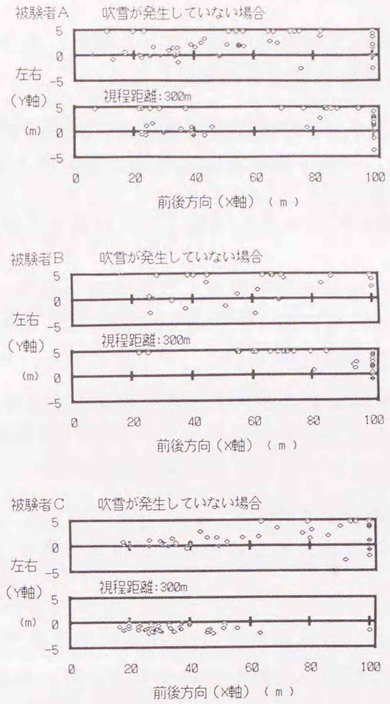


図8-46　被験者別の注視点分布

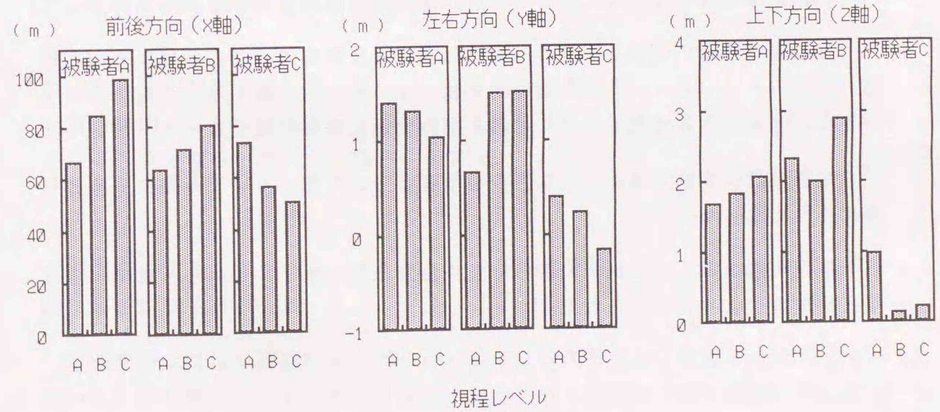


図8-47　注視点位置と視程レベル

・被験者Bにおいて400m以下に視程が短くなった場合、視点位置は運転者の左側の上方向にある電柱や除雪用の標識等に集中した。

・被験者Cの場合、左右方向の視点位置は運転者の真正面に集中する傾向を示すが、上下方向の視点位置は手前下方の路面に集中した。

・被験者Aは、視程距離が短くなるにつれて注視点を前方の正面に集中する傾向を示した。

・被験者Bは、視程レベルCになった場合、注視点位置を左上方向に集中した。ちなみに、左上方向には、電柱・除雪用ポール等がある。

・被験者Cは、視程距離が短くなるにつれて注視点を車両の右側、対向車線側の路面に集中させる傾向を示した。

8．4．4　各評価の結果のまとめ

吹雪時における運転者の見方を視点の移動角速度と位置から評価した結果についてまとめる。

・運転している状態では、眼球運動の50%以上が随従運動であった。これは、運転において絶えず移動する物体を追跡しているためと思われる。

・視程距離が短くなるにつれて短時間内の物体の認識が困難となるため注視時間がより多く必要となり、短い移動角速度の比率が高まる。特に視程距離が800m以下の場合、特に上昇する。

・視程距離が短くなるにしたがって、随従運動や跳躍運動の構成率は低下した。

・視程距離が短い場合、一度の注視では視覚対象物を認識できないため、２種類の注視パタンがあった。同じ視覚対象物を短い時間内で繰り返し注視するパタンと一回に注視する時間を延ばして視覚対象物を確実に認識するパタンがあった。

・注視点間の移動角速度は、３名の被験者とも、吹雪が多少でも発生すると急激に小さくなった。

・視程距離が短くなるにしたがって視点位置は集中する。しかし、集中する位置は被験者により差が見られた。

8．5　ファジイ・エントロピーによる吹雪時の情報収集パタンの評価

前節において視点の動きそのものから吹雪時の視覚探索パタンを評価した。運転者は視程距離が短くなると、注視に必要な時間を長くし、視認するポイントを少なくする結果を得た。しかし、これらの解析では運転者が道路から情報を得ている状況を総合的に評価することはできない。

第６章において、運転者の視覚による情報摂取過程を、道路空間を情報源とする運転者への通信と考え、道路環境から得る情報量の期待値であるエントロピーからその情報収集パタンを評価した。シャノンの情報理論においてエントロピーは、対象とする系（道路空間）で事象（注視点分布）が生起することによって生じる情報量の期待値に相当し、エントロピーが大きいとは、事象（注視点分布）の生起によって発生する平均情報量が大きいことを意味している。

しかし、吹雪時においては道路空間（情報源）が視程距離により変化しており、道路空間（情報源）の見えない程度をなんらかの形でエントロピーの概念に導入する必要がある。

そこで、本研究では吹雪により道路空間に発生する「あいまいさ」の有効なモデリング手法としてファジイ概念を導入した[7)-10)]。対象とする系（道路空間）をファジイ集合で表したときに拡張定義されるファジイ事象によるエントロピーにより、運転者の情報収集パタンを検討した[11)-17)]。また、ファジイ集合そのものの「あいまいさ」の度合いを測る尺度として定義されるファジイ・エントロピーにより、運転者の評価による道路空間の「あいまいさ」及び道路空間そのものの「あいまいさ」についても検討した。

8．5．1　ファジイ・エントロピーの定義とその適用

道路空間には、m個の表示情報が出力されるものとする。そこで、運転者が認知する表示情報をm次元表示情報ベクトル

$$Y=Y1,Y2,Y3,.....,Ym \qquad (8\text{-}2)$$

として表現する。すなわち、このベクトルの各成分Yi(i=1,2,....,m)は、道路空間にある情報を表わしている。

道路空間の情報の評価Wi(i=1,2,....,m)には、吹雪（視程距離）に伴う「あいまいさ」が影響する。そこで、ファジイ集合で表した道路空間の情報の評価に吹雪に伴う「あいまいさ」を定量的に取り込む。

道路空間の情報の評価Wi(i=1,2,.....,m)に対しファジイ集合Xのメンバーシップ関数

$$X(W)=X(W1),X(W2),X(W3),.....,X(Wm) \qquad (8-3)$$

が定義できるものとする。X(Wi)が0のときは道路空間が全く見えない状況、X(Wi)が1のときはくっきり見える状況、X(Wi)が0.5のときが見えるか見えないか半々の最もあいまいな状況を意味する。

次に、運転者は道路空間の情報ベクトルY*Wに対し、運転者が処理する情報の受容した状態を、

$$A \begin{cases} Y1(W1),Y2(W2),Y3(W3),.....,Ym(Wm) \\ P1,P2,P3,.....,Pm \end{cases} \qquad (8-4)$$

と表す。道路空間Yi（入力）の情報は、Piという確率で運転者に受け取られる。このとき、YiはWiの関数として定義されている。確率Piは生体制御パラメータ空間上で定義できるものであり、ここでは運転者の視点分布を適用した。以上のような考えにより、ファジイ事象としての道路空間と運転者の視点の関係を定義した。

そこで、ファジイ集合を、通常の集合の特性関数をメンバーシップ関数にまで拡張したものであると考えるとき、エントロピー関数で使われる特性関数をメンバーシップ関数で置換することができる。ファジイ事象から得ているエントロピーH(A)は、以下の式で定義される。

$$H(A)=-\Sigma\, X(Wi)*Pi*\log(Pi) \qquad (8-5)$$
$$(i=1,2,.....,m)$$

明かに、X(Wi)が1のときは、生起確率Piのエントロピーの式に還元される。(8-5)式の結果は、視程距離の変動を含む状況で運転者が得ている情報量（エントロピー）であると考えられる。

次に道路空間のファジイ集合そのもののあいまいさは、ファジイ・エントロピーの定義から

$$D(A)=1/m*\Sigma\,[-X(Wi)*\log(X(Wi))-(1-X(Wi))*\log(1-X(Wi))] \qquad (8-6)$$
$$(i=1,2,.....,m)$$

により求められる。これにより、吹雪により変動する道路空間の「あいまいさ」が数量的に求められる。

最後に、運転者は道路空間の情報ベクトルY*Wに対し、運転者が処理する情報の受容した状態のあいまいさを求める式として、ファジイ・エントロピーの定義を適用する。運転者が受け取った情報そのもののあいまいさも以下の式によりファジイ・エントロピーとして求めうる。

$$S(A)=1/m*\Sigma\,[-Pi*X(Wi)*\log(Pi*X(Wi))-Pi*(1-X(Wi))*\log(Pi*(1-X(Wi)))] \qquad (8-7)$$
$$(i=1,2,.....,m)$$

S(A)は、どの表示情報Yiもそれが重要であるかないか不明なとき大きな値となると考えられ、S(A)が大きいことはすべてのYiに注意力が行き渡っていて、情報を得ようとする要求が高いことを表している。あるいは、非常に道路空間があいまいであると運転者が評価していると受け取れる。

８．５．２　視程距離とファジイ・エントロピー

これらの定義された式を用いて、吹雪時の情報収集パタンの解析に応用した。(8-3)式のメンバーシップ関数は、視程距離値と視点の位置から定義した。すなわち、被験者の位置（距離0m）での値を1、視程距離計で示された被験者からの距離の地点を0とした。また、その間の地点の関数値は、被験者からの距離により比例配分した値とした。例えば、視程距離値が500mの場合、運転者から100m地点でのメンバーシップ関数の値は0.8、300m地点では0.4となる。

次に、視点の確率分布Piは、道路空間上における注視点の時間的な確率分布とした。道路空間を32区画に分け、各々の区画に分布する視点の時間的総和を測定区間(300m)の総注視時間で除した。

被験者が道路空間から得たエントロピー値を、(8-5)式から求めた。道路空間全体が鮮明なら通常のエントロピー値に還元される。図8-48に、その結果を示す。視程距離の減少、すなわち「あいまいさ」の増加に伴い、各被験者ともエントロピー値が減少している結果が示された。

また、(8-5)式から最大エントロピー値を求め、図8-48のエントロピー値を割った値を比率(%)として図8-49に示す。この結果は、視程距離が短くなった場合における被験者別の情報収集能力を示している。

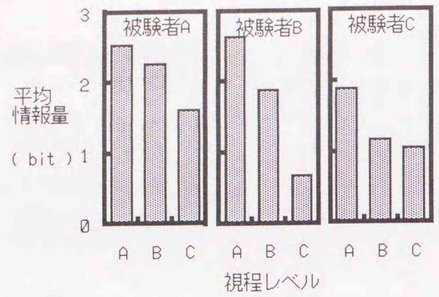


図8-48　視程レベルと平均情報量(bit)

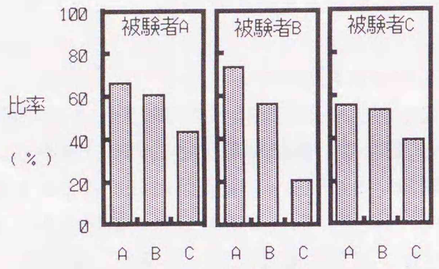


図8-49　平均情報量と最大情報量の比

被験者Aは、他の2名の被験者に比較して視程距離が短くなった場合（視程ﾚﾍﾞﾙC）でもエントロピー値がかなり高い値を示した。また、最大エントロピー値による比率も、視程距離の悪い条件（視程ﾚﾍﾞﾙC）において3人の被験者の中で最も大きかった。

(8-6)式を用いて図8-50に、道路空間のあいまいさを計算した結果を示す。視程距離の低下によりあいまいさが増加した。

図8-51に、被験者による映像のあいまいさの評価を(8-7)式により計算した結果を示す。吹雪が多少起きている状態（視程レベルB）で、「あいまいさ」が最も大きくなった。視程距離が短くなってしまうと、被験者は確かに見えないので、逆にあいまいさが減少していると推測される。

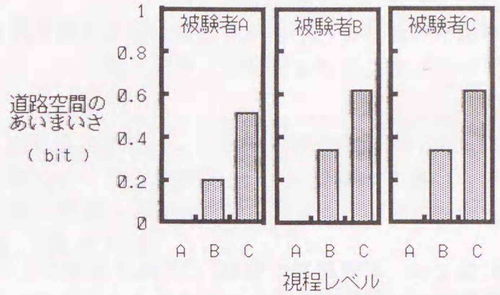


図8-50　視程距離を原因とする道路空間のあいまいさ(bit)

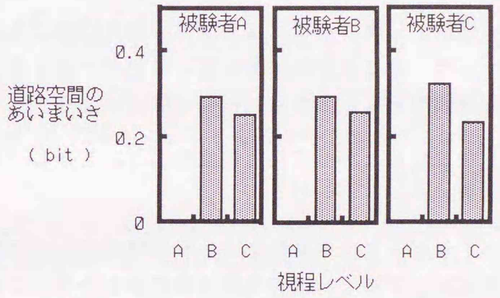


図8-51　被験者が感じている道路空間のあいまいさ(bit)

8．5．3　分析結果

これらの結果から、道路空間をファジイ事象とすることで、吹雪時における運転者の情報収集パタンを比較的合理的に示せた。

被験者は、3名とも視程距離の悪化すなわち道路空間があいまいさを増すにつれて得る情報量（エントロピー）は減少した。しかし、他の2名に比較して熟練している被験者Aは、エントロピー値の減少が小さかった。また、道路空間のあいまいさの評価は、視程距離が500mから1000mの視程レベルBのときに3名とも最大になった。

8．6　まとめ

吹雪時の運転者の視点の測定を行い、様々な評価指標を用いて視程距離と視点に関して分析した。これらの結果をまとめる。

・先行車や対向車がない直線路を視界が悪化した状況で走行するとき、運転者はとにかく見えるものに視点を集中させた。同様に、カーブ区間を走行する場合、視線誘導標を有効に利用していた。

・運転している状態では、眼球運動の50%以上が随従運動であった。これは、運転において絶えず移動する物体を追跡しているためと思われる。視程距離が短くなるにつれて短時間内の物体の認識が困難となるため注視時間がより多く必要となり、短い移動角速度の比率が高まった。

・視程距離が短い場合、一度の注視では視覚対象物を認識できないため、２種類の注視パタンがあった。同じ視覚対象物を短い時間内で繰り返し注視するパタンと一回に注視する時間を延ばして視覚対象物を確実に認識するパタンがあった。

・視程距離が短くなるにしたがって視点は集中した。しかし、集中する位置は被験者により様々であった。

・ファジイ・エントロピーによる解析から、吹雪時の運転に熟練した被験者は、視程距離が短い状況において多くの情報を得る視覚挙動を行っていることを示した。

これらの結果は３名の被験者による結果である。より多くの被験者による実験を行うことが必要であろうが、このような危険な状況において実験を繰り返すことは事実上困難である。今後は、運転シミュレータ施設の利用を考えて行きたい。また、本章の結果から得られた吹雪時における運転者の視覚的な挙動を基礎に、具体的な道路環境の改善策に結び付けていきたい。

参考文献

(1)　浅野剛、加藤義和、岡本征四郎、松田充生：「霧の中におけるドライバーの視認性について」、自動車技術、Vol.32, No.7, pp.692-698, 1978

(2)　萩原亨、加来照俊：「ﾋﾞｼﾞｭｱﾙ･ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝによる運転者の視線解析手法について」、土木計画学論文集、Vol.7, 1989

(3)　萩原亨、加来照俊：「運転者の注視点とその評価に関する研究」、土木計画学研究論文集、Vol.6, 1988

(4)　福沢義文、竹内政夫、石本敬志、野原他喜男：「吹雪観測と交通管理への利用：一般国道40号稚内～豊富」、北海道開発局土木試験所、1986

(5)　竹内政夫：「吹雪と道路交通」、北海道開発局開発土木研究所、1990

(6)　竹内政夫：「降雪時における自動車の巻き上げによる視程障害」、北海道開発局開発土木研究所、1990

(7)　Zadeh, L.A. : "Fuzzy Sets", Information & Control, Vol.8, pp.338-353, 1965

(8)　Yager, R.R. : "On Solving Fuzzy Mathmatical Relationships", Information & Control, Vol.41, pp.29-55, 1979

(9)　寺野寿郎：「あいまい工学の応用例」、日本機械学会誌、VOl.79, No.697, pp.1137-1144, 1976

(10)　田中英夫、上嶋暁、浅居喜代治：「ファジィ関数による線形回帰モデル」、Journal of the Operations Research, Vol.25, No.2, pp.162-173, 1982

(11)　Zadeh, L.A. :"Probability measures of fuzzy events", J.Math. Anal. Appl., Vol.23, pp.421-427, 1968

(12)　De Luca, A. and Termini, S. : "A definition of a nonprobabilistic entropy in the setting of fuzzy sets theory", Information and Control, Vol.20, pp.301-312, 1972

(13)　松井伸之、馬場英一：「人間機械系における注意力のカタストロフ表現」、計測自動制御学会論文集、Vol.21, No.9, pp.887-892, 1985

(14) 松井伸之、馬場英一：「ファジイエントロピーに基づく注意力の考察」、計測制御学会論文集、Vol.22,No.6,1986

(15) 水本雅晴：「ファジイ理論とその応用」、ｻｲｴﾝｽ社、1988

(16) 本田中二：「ファジイ・エントロピーとはなにか」、数理科学、No.294,1987

(17) 田中英夫、和多田淳三、林勲：「ファジィ線形回帰分析の三つの定式化」、計測自動制御学会論文集、Vol.22, No.10, pp.1051-1057, 1986

9章　運転者の情報収集パタンと走行条件

9．1　概　説

運転者は、運転に必要な情報の90%を視覚から得ていると一般に言われている[1)]。運転者の情報の収集方法を分析することは、運転者側と道路管理者側の両者にとって非常に重要であると言える。本章では、種々の走行条件で測定した視点の結果から、走行条件と運転者の情報収集パタンとの関係について細かく分析した。

実車実験は、高速道路で実施した。その理由をまとめる。第1に、一般道路では統制されない変数が極めて多く、環境のごく限定された側面だけを統制してもその要因の影響が埋もれてしまう可能性がある。そこで統制されない変数が少ない道路条件が必要である。第2に、観測したい走行条件での測定がなかなか一般道路では実現しない。高速道路では必要な条件を実現できる。第3に、速度の高低が視点に与える影響を調べるために、高速でも走行できる道路でなければならない。最後に、実験時の安全の確保が必要だからである。

視点の動きを評価する指標についてまとめる。比較を行う走行条件は、速度の高低、昼夜、先行車の有無と道路線形の4つである。第1に、運転者の眼球運動の動きから注視時間と随従運動の時間を求めた。第2に、著者らが開発したシステムから視点の3次元位置とその分散値を求めた。最後に、画像の情報量を算定する手法を用いて、運転者が注視を行っているときの情報処理速度を求めた。通常人間が限界としている情報処理速度と比較した。

これらの研究の結果から、運転者の視点の動きと走行条件の関係について、これまで定性的に言及されてきたことを、定量的に示した。

9．2　視点の解析手法と測定実験

本節では、視点の測定手法と解析手法、実車実験の内容、眼球運動の定義の3点について簡単に説明する。

9．2．1　視点の測定手法と解析手法

"Vision Analyzer"を基本とするシステムにより、運転者の視点を測定した。運転者の視界、及び装着感を改良することにより、かなり危険と思える場面におい

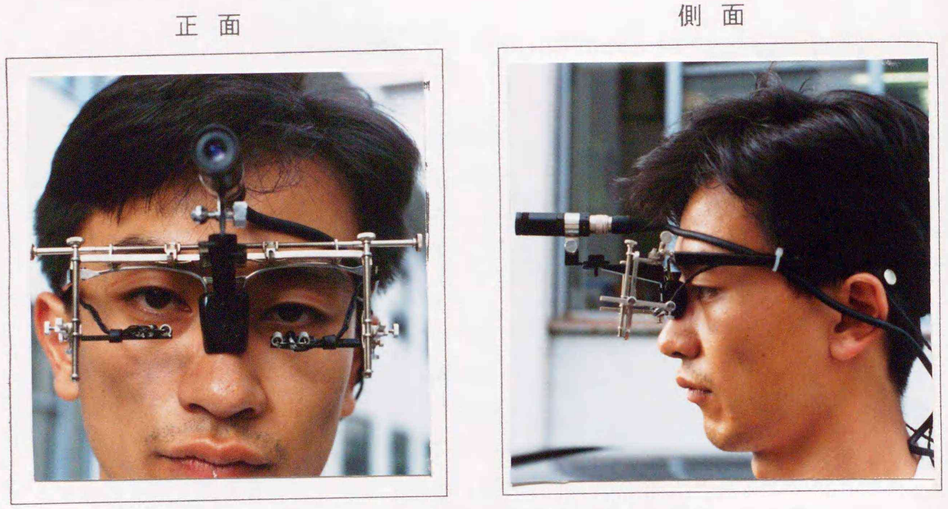


図9-1 "Vision Analyzer"を装着した概観

ても通常の運転に近い感覚で運転可能である。図9-1に測定装置の概観を示す。

著者らの開発した視点と視野映像との関係を明確に分析するシステムにより、測定結果を3次元データに変換した。データ処理の効率性・正確性等において従来の視点解析システムに比べて優れた点が多い。この解析手法については既に発表しているのでここでは簡単にその特徴について示す[2)-5)]。

図9-2に視点の測定から出力までのフローを示す。運転者の3次元視点位置は、眼球運動測定装置から出力される視点の方向に頭部運動の方向を加えた方向と道路空間が交差する点から求めた。さらに、3次元視点位置は2次元に変換され、視野映像と合成される。

これまで、視点の測定実験時にしか行えなかった視点と映像の合成が、種々の測定結果を計算機に入力することにより、測定実験後において視点と映像の合成が可能となった。この特徴により、従来困難であった視覚対象物と視点の関係が明確に定義できるようになり、種々の条件における運転者の視覚探索パタンの比較が飛躍的に容易になったと言える。

9．2．2 実車実験

運転者の視点の測定を、札樽自動車道路の銭函－朝里間において1989年11月4日から一週間行った。図9-3に走行区間と解析区間を示す。カーブ区間は、左カーブの曲線を走行している区間のみを対象とした。

被験者は4名である。4名とも熟練者であり、実験区間については経験豊富である。種々の走行条件を設定し、視点の測定を行った。走行条件を組み合わせた16のパタンで実験を行った。実験条件を満たさない場合もあるので、1つのパタンについて2-3回の実験を実施した。高速度での実験は100km/h、低速度での実験は50km/h前後を目標として実験した。測定実験はジープタイプの4WD車を用いた。

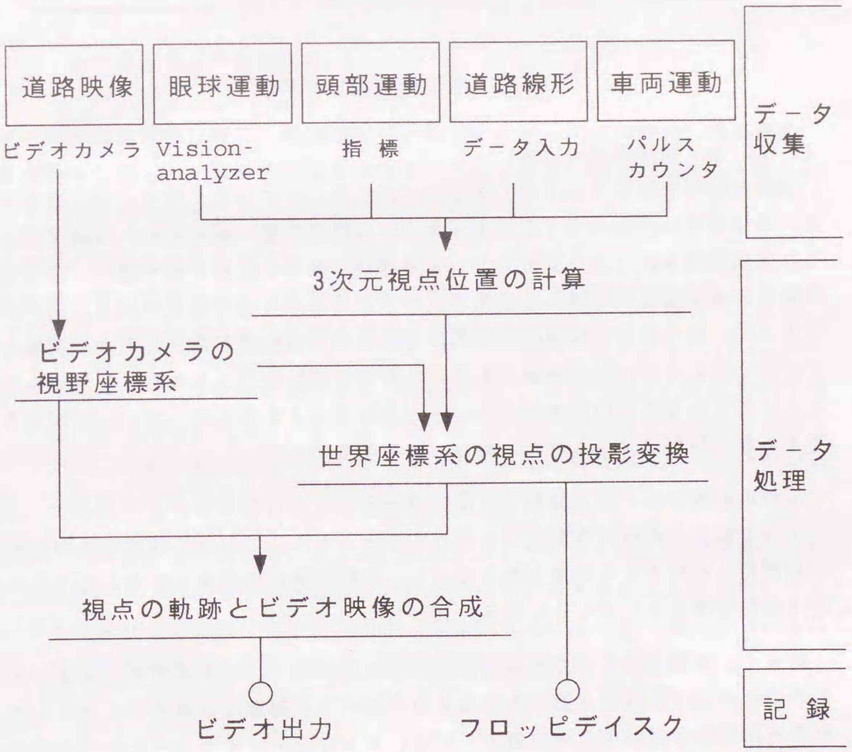


図9-2 視点解析システムについて

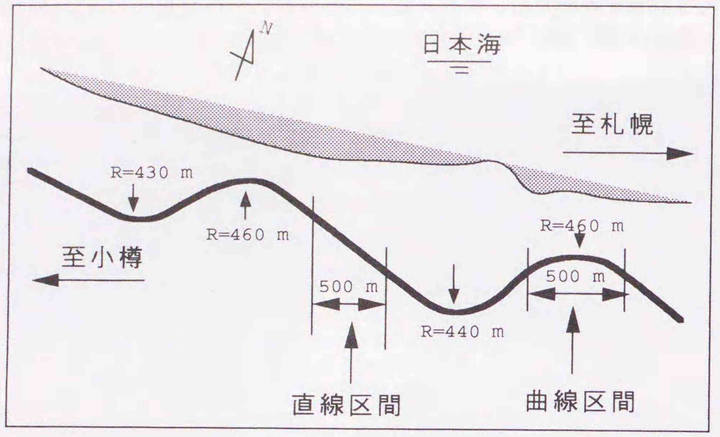


図9-3　実験を実施した路線

9．2．3　眼球運動の定義

眼球運動の定義については、第2章に示した。ここでは、簡単にその要旨を示す。眼球運動は運動の大きさにより大まかに固視微動・随従運動・跳躍運動の3つに大別される。1点を凝視しているときに、激しく細かく動く運動が固視微動である。固視微動は外界から情報を入手するための大切な動きである。図9-4に示すように、振り子のような正弦波状に速度の変わる指標を追ったときの視線の動きによく現れるのが随従運動である。自動車の運転時のように動く視対象を見るときに多く生じる目の動きである。静止画を見たときに注目している視対象を移動する際に生じるような眼球運動が、跳躍運動である。

注視の定義の中に固視微動の速度成分を含めるのは当然のことであるが、ここではある範囲内の随従運動成分も含めることとした。これは、随従運動が運動中に視覚特性の低下する跳躍運動と異なり、運動指標の情報をよくとらえるための眼球運動と考えられるからである。

従って、随従運動を含む眼球運動速度を基準に考え、その所定の速度より遅いものの中から注視成分と想定されるものを求め注視運動を定義することにした。その所定の眼球運動のしきい値としては、ビジョン・アナライザを用いた眼球運動の研究から示された値であるところの、5deg/secを用いた[6)-8)]。

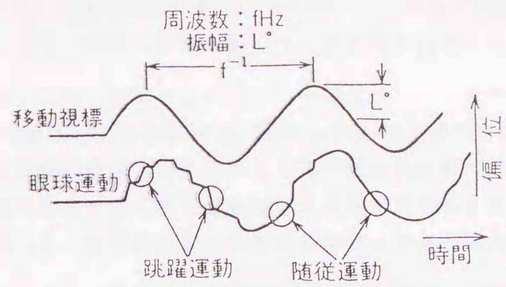


図9-4　随従運動について

9．3　運転者の視点と走行条件

視点の移動速度を計算し、眼球運動の定義にしたがって注視運動，随従運動，跳躍運動に分類した。各々の運動の時間的な構成率を走行条件から分析した。次に、3次元視点位置を計算し、同様に分析した。

分析には多変量解析を用いた。目的変数は、数量的データにあるのに対して、説明変数が質的変数であるので数量化1類を用いた。説明変数として取り上げた走行条件が、眼の動きと見る位置に与える影響の程度を分析した。

数量化理論について簡単に説明する。各種計測データを用いて、現象を統計数理的解析によって解明することは人文科学，社会科学，自然科学の分野で重要なことである。現象が形づくっているデータ構造は、その構造個体がいろいろな構成特性の要因に対する反応によって複雑に交錯している。

このような現象を解明していくには、現象に対してのたくさんの特性要因に反応した質的パタンの項目や、測定した特性量を総合量にまとめて分析して行く必要がある。データが質的なものだったり、定量的なものをカテゴリー化したもので得られているとき用いる方法論として数量化理論がある[9)-12)]。

9．3．1　走行条件と運転者の眼球運動

注視運動と随従運動に費やされた時間の構成率を計算した。図9-5と図9-6は、先行車が有り、100km/hで運転しているときの結果である。図9-5から分かるように注視時間の構成率は、夜間に高くなった。構成率は、昼間で10%、夜間で20%前後であった。

同様に、図9-6に随従運動の構成率を示す。注視運動に比べて構成率が非常に高い。昼間で50%、夜間には60%にも達する。この理由は、随従運動は、前節でも示したように動きを捉えるときに用いられる眼の動きだからである。運転時において視野から得られる映像の動きを捉える必要があるためと言える。

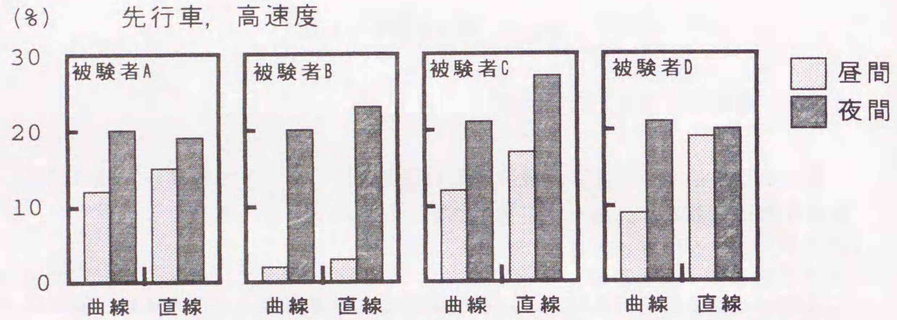


図9-5　注視運動の時間構成率

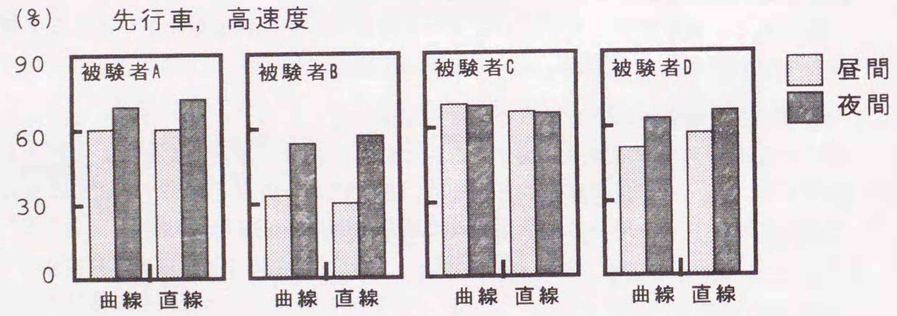


図9-6　随従運動の時間構成率

次に、注視運動と随従運動の構成率に走行条件がどのように影響しているかを数量化１類を用いて分析した。目的変数として構成率を、説明変数として昼夜、線形、速度、先行車の有無の４つの走行条件を用いた。分析結果を表9-1と表9-2に示す。

最初に、注視運動と随従運動に共通した結果についてまとめる。偏相関係数とレンジの値から、被験者と昼夜の影響が大きくなっている。眼球運動は生体的なものであり、被験者の要因が大きいことは当然とも言える。また、昼夜の違いは明るさの違いに還元され、夜間には物体を認識するのに必要な時間が延びていたと言える。他の３つの説明変数が眼球運動そのものに与えた影響は小さかった。

次に、注視運動と随従運動の相違についてまとめる。区間、速度、先行車が眼球運動に与える影響は反対になった。曲線区間では、注視運動が減り随従運動が増した。低速度では、注視運動が増えて随従運動が減った。先行車が有る場合、注視運動が増えて随従運動が減った。すなわち、運転者から見ている映像の動きが激しくなってくると随従運動が増す。反対に、直線区間のように動きの小さい場面では、注視運動が増えると言えた。

表9-1　注視運動の構成率と走行条件

Cat.	Freq	Score	Range	Cor.
昼間	32	-3.303	6.084	0.478
夜間	38	2.781		
曲線	35	-1.898	3.907	0.333
直線	35	2.009		
低速度	34	1.405	2.732	0.239
高速度	36	-1.327		
先行車有	36	1.134	2.334	0.205
先行車無	34	-1.200		
被験者A	18	1.649	9.290	0.576
B	22	-5.748		
C	12	3.542		
D	18	3.015		

Multiple correlation coefficient = 0.732

表9-2　随従運動の構成率と走行条件

Cat.	Freq	Score	Range	Cor.
昼間	32	-3.179	5.857	0.344
夜間	38	2.677		
曲線	35	0.017	0.034	0.002
直線	35	-0.018		
低速度	34	-1.545	3.004	0.185
高速度	36	1.459		
先行車有	36	-1.546	3.182	0.196
先行車無	34	1.637		
被験者A	18	3.757	6.946	0.355
B	22	-2.112		
C	12	3.019		
D	18	-3.188		

Multiple correlation coefficient = 0.515

9．3．2　視点位置の分布

3次元視点位置を図9-2のシステムにしたがって求めた。視点位置と走行条件の関係について分析する。説明変数は、昼夜，速度，被験者の3つとした。

測定データから先行車が有る場合を除いた。先行車の有無は視点位置に非常に大きく影響する。視点は、ほぼ先行車の付近に集中すると言える。他の走行条件の影響を先行車がある場合には受けにくい。そこで、先行車がある場合とない場合を混ぜて視点位置を分析することはできないと判断した。同様に、直線区間と曲線区間も分けて分析した。

最初に、視点の分布を示す。図9-7は、被験者Dによる昼夜別、速度別の2次元的な視点分布である。直線区間と曲線区間では、視点の分布とその位置はまったく異なっている。解析した曲線区間は左カーブであるため、視点は左側に集中した。直線区間では視点はほぼ被験者の真正面を中心に分布している。一方、速度が速い場合は、視点の分布全体が進行方向の方へシフトする傾向がみられる。

次に、視点位置を目的関数として数量化1類により昼夜と速度の影響を求めた結果を示す。表9-3は直線区間の視点位置、表9-4は曲線区間の視点位置である。

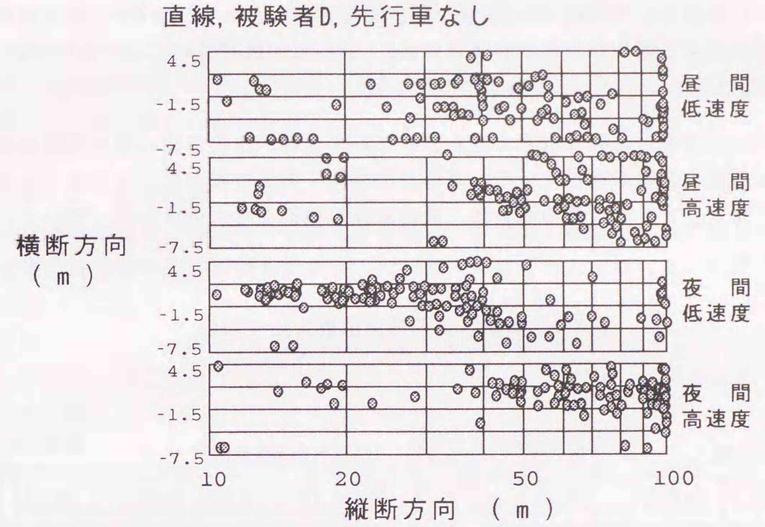


図9-7　直線区間と曲線区間の視点位置分布、被験者D

被験者による影響が最も大きかった。被験者により運転中に見るところは違う言える。被験者B,C,Dは、中央車線の付近を見る傾向があり、被験者Aは自分の真正面付近を見る傾向がある。被験者B,Dは、眼の高さ付近を中心的に見ており、被験者A,Cは眼の高さより高い地点を見ていた。

上下方向の視点位置は昼夜よりも速度に影響され、左右方向の視点位置は速度よりも昼夜の影響を受けている。高速度の場合、視点位置が高くなり遠くを見るようになる。また、夜間の場合は、昼間よりも路肩よりに視点を持っていくと言える。

表9-3　直線区間の視点位置と走行条件

(1)左右方向視点位置

Cat.	Freq	Score	Range	Cor.
昼間	8	-0.533	1.006	0.323
夜間	9	0.474		
低速度	9	-0.139	0.296	0.100
高速度	8	0.157		
被験者A	5	1.149	2.079	0.482
B	6	-0.688		
C	2	-0.930		
D	4	0.061		

Multiple correlation coefficient = 0.551
Constant = -1.283

(2)上下方向視点位置

Cat.	Freq	Score	Range	Cor.
昼間	8	0.332	0.627	0.264
夜間	9	-0.295		
低速度	9	-0.329	0.700	0.317
高速度	8	0.371		
被験者A	5	0.303	1.693	0.428
B	6	-0.536		
C	2	1.156		
D	4	-0.152		

Multiple correlation coefficient = 0.506
Constant = 2.058

(3)左右方向視点分散

Cat.	Freq	Score	Range	Cor.
昼間	8	2.919	5.513	0.771
夜間	9	-2.594		
低速度	9	1.074	2.283	0.475
高速度	8	-1.209		
被験者A	5	0.005	5.113	0.582
B	6	-1.772		
C	2	3.342		
D	4	0.981		

Multiple correlation coefficient = 0.799
Constant = 8.249

(4)上下方向視点分散

Cat.	Freq	Score	Range	Cor.
昼間	8	0.513	0.970	0.374
夜間	9	-0.456		
低速度	9	-0.320	0.679	0.293
高速度	8	0.360		
被験者A	5	0.318	1.514	0.387
B	6	-0.434		
C	2	1.080		
D	4	-0.287		

Multiple correlation coefficient = 0.505
Constant = 2.551

最後に、左右方向と上下方向の視点の分散を目的関数として走行条件の影響を数量化１類により解析した。視点位置と同様に、直線区間のデータを用いた。夜間に視点が集中する結果となったが、左右の視点の分散に与える、昼夜の影響は非常に大きかった。高速度の場合、左右方向の視点の動きが減り、上下方向すなわち進行方向の視点の動きが増した。

９．３．３　分析結果

眼球運動と視点位置に与える様々な影響を、数量化１類を用いて分析した。その結果、被験者の影響が最も大きく、次に昼夜の影響が大きかった。昼夜と速度

表9-4　曲線区間の視点位置と走行条件

(1)左右方向視点位置

Cat.	Freq	Score	Range	Cor.
昼間	8	-0.304	0.574	0.558
夜間	9	0.270		
低速度	9	-0.432	0.918	0.741
高速度	8	0.486		
被験者A	5	0.318	1.442	0.737
B	6	-0.011		
C	2	0.707		
D	4	-0.734		

Multiple correlation coefficient = 0.870
Constant = 2.961

(2)上下方向視点位置

Cat.	Freq	Score	Range	Cor.
昼間	8	0.244	0.461	0.425
夜間	9	-0.217		
低速度	9	-0.297	0.631	0.562
高速度	8	0.334		
被験者A	5	0.467	0.935	0.641
B	6	-0.468		
C	2	0.448		
D	4	-0.106		

Multiple correlation coefficient = 0.733
Constant = 1.175

(3)左右方向視点分散

Cat.	Freq	Score	Range	Cor.
昼間	8	2.019	3.814	0.621
夜間	9	-1.795		
低速度	9	1.697	3.606	0.599
高速度	8	-1.909		
被験者A	5	-0.136	4.824	0.617
B	6	-1.607		
C	2	-1.273		
D	4	3.217		

Multiple correlation coefficient = 0.795
Constant = 5.970

(4)上下方向視点分散

Cat.	Freq	Score	Range	Cor.
昼間	8	0.376	0.710	0.528
夜間	9	-0.334		
低速度	9	-0.254	0.539	0.432
高速度	8	0.285		
被験者A	5	0.473	0.897	0.537
B	6	-0.424		
C	2	-0.084		
D	4	0.088		

Multiple correlation coefficient = 0.685
Constant = 1.230

の影響をまとめる。暗くなると視点位置は、明かりのある部分に限られるため、視点位置は手前の左側を見る場合が多くなりしかも長く一つの物を見るようになる。速度を速くすると見る位置は遠くなると同時に左右の動きが少なくなり縦断方向の動きが激しくなる。ただし、重相関係数が0.5から0.6程度の低い値となったことからも分かるように、ここに取り上げた以外にも様々な要因があることに注意する必要があろう。

9．4　運転者の情報処理速度

ここまで、運転中に見る位置を中心に分析を進めてきた。本節では、見た内容をどの程度被験者が理解しているかについて検討する。道路空間には、標識，道路線形，先行車，対向車，道路構造物等の様々な物体がある。被験者は視覚によりこれらの物体を認識しなければならない。

そこで、本節では被験者の視認に関するパフォーマンスについて検討した。視覚対象物の内容を情報量に変換する客観的な手法を用いて、被験者の情報処理速度を求めた。これまでの研究により求められている人間の情報処理速度と比較した。

第７、８章で情報量を用いて運転者の情報収集過程の評価を行った。このときの情報量は、視点位置の機械的な区分から求めた。本章では、視点位置の物体を情報量で換算することから運転者が得ている情報量を求めた。そのため、視点位置が示す物体を一つ一つ合成画像から読み取る作業を行った。

物体を視認する作業は、眼球運動の定義から注視運動に相当する。３次元視点位置から注視運動を示した視点を選び、合成映像から注視対象物を求めた。注視対象物の情報量と注視時間から、被験者の情報処理速度を求めた。

このような分析を可能にするには、第１に視点位置と視覚対象物が一致していること、第２に統計的な処理を行えるデータ量の確保が可能なことが挙げられる。図9-2のシステムの実現により、初めて上記の要求を満たすことができるようになったと言える。

9．4．1　画像情報量の定義

画像情報を記号的画像情報・情景的画像情報・情緒的画像情報の三種類に分類し、換算文字数により情報量を求める手法が提案されている[13)-24)]。

記号的画像情報は画像の情報が記号の形で表される。情景的画像情報は、言語

情報にその内容を置き換えれるものとする。情緒的画像情報は、主観性が強い画像情報を示す。

記号的画像情報では、仮名文字を基準にとり何文字の仮名に相当するか換算し、情報量を求める。また、情景的画像情報についてもその持つ内容を項目により表現し、情報量を求める。ただし、この換算法は情報理論に立脚したもので、人間の特性は考慮に入れられていない。

運転者が主に見ている情報は、情景的画像情報に相当する。この情報量を記号的画像情報量と統一的に扱うため以下の方法で定量化する。まず、画像の情景的な内容を名詞、動詞、形容詞等の単語（項目）で表現し、その画像に含まれる項目数を数える。この項目数に定数2.3(14/6)を掛けた値を換算字数とし、図や写真の画像情報量と定義する。さらに説明等の文字を含む場合は、文字部分の換算字数を加える。

以上の数値は、換算字数１字当たり6bit、１項目当たり14bitの情報量を仮定して導かれる。これらの情報量の数値的な根拠についてはここでは詳しく示さないが、心理学や生理学を含めた総合的な研究により求められている値である[13)-24)]。

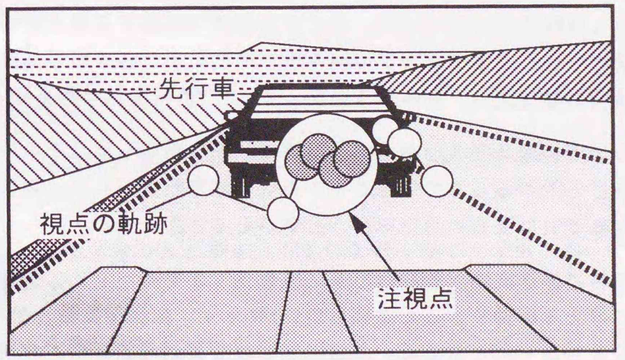


図9-8　情報処理速度の算定例

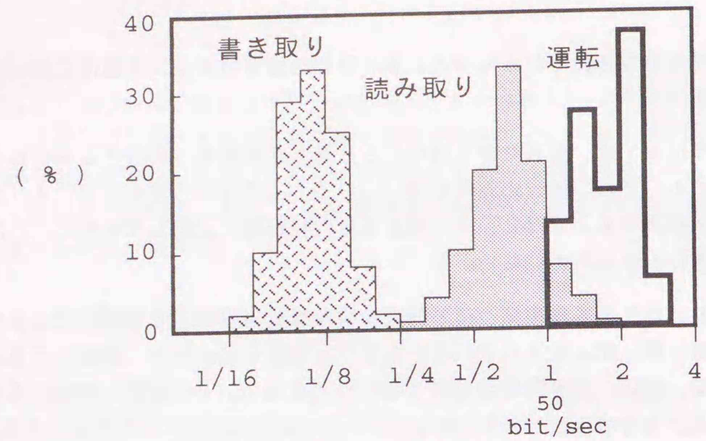


図9-9　運転者の情報処理速度

9．4．2　運転者の情報処理速度と走行条件

以上のような手法により、運転者が注視運動から得ている情報量を換算字数から算定した。例として、運転者が「先行車が有る」を注視時間0.4secで見た場合を図9-8に示す。「先行車が有る」は情景的画像情報に相当し、その画像の情報は2項目28bitとなり、運転者の情報処理速度は、28bit/0.4sec=70bit/secと計算される。

図9-9は、上記のような手法で求めた情報処理速度の分布を、50bit/secで正規化して示した結果である。50bit/secは、人間の情報処理速度の限界値と一般に考えられている情報処理速度である。全ての被験者の結果から構成率を求めた。他の研究で求められた文字テロップの読み取り速度および書き取り速度と比較した。運転者の情報処理速度は、読み取り速度より約1.5倍程度速い結果を示した。

被験者の情報処理速度の分布は、離散的に一部に集中した。その原因は、道路における項目の数が限られていることと視点の測定間隔が0.1sec単位のためである。時間間隔の短い視点の測定を行う必要があると言える。

次に、情報処理速度を目的関数として数量化１類を適用した。走行条件が情報処理速度に与える影響を求めた結果を表9-5に示す。偏相関係数の値から、線形の影響が最も大きかったと言える。曲線区間での情報処理速度は、直線より高速となっていた。処理速度が速くなる条件は、昼間，低速度（50km），先行車有りであった。

表9-5　情報処理速度と走行条件

Cat.	Freq	Score	Range	Cor.
昼間	32	3.208	5.909	0.146
夜間	38	-2.701		
曲線	35	9.796	19.593	0.443
直線	35	-9.796		
低速度	34	0.894	1.738	0.044
高速度	36	-0.844		
先行車有	36	4.648	9.570	0.234
先行車無	34	-4.922		
被験者A	18	-5.376	13.825	0.293
B	22	8.365		
C	12	0.918		
D	18	-5.460		

Multiple correlation coefficient = 0.544

9．4．3　分析結果

画像の情報量の定義を用いて、運転中の情報処理速度を求めた。その結果、人間が通常行っている情報処理速度を越える値となった。特に、曲線区間では情報処理速度が高くなった。一方、同じ情報量を運転者が受け取ると考えられる昼夜と速度高低の条件で、夜間と高速度において情報処理速度が小さくなった。

本節では注視運動についてのみ検討したが、動くものを追いかける随従運動により得ている情報に関しても検討する必要があろう。

9．5　まとめ

以上のような解析により得られた結果をまとめる。

・運転中の眼球運動の過半数は、随従運動であり、動的な物体を追いかけることに眼を使っている。

・眼球運動に与える様々な影響を、数量化１類を用いて分析した。その結果、被験者の影響が最も大きく、次に昼夜の影響が大きかった。

・運転者から見ている映像の動きが激しくなってくると随従運動が増す。反対に、直線区間のように動きの小さい場面では、注視運動が増えた。

・暗くなると視点位置は、明かりのある部分に限られるため、視点位置は手前の左側を見る場合が多くなりしかも長く一つの物を見るようになった。

・速度を速くすると見る位置は遠くなると同時に左右の動きが少なくなり縦断方向の動きが激しくなる。

・画像の情報量の定義を用いて、運転中の情報処理速度を求めた。その結果、通常の情報処理速度を越える値となった。

・曲線区間の情報処理速度は、直線区間よりかなり高かった。また、同じ情報量を運転者が受け取ると考えられる昼夜と速度高低の条件で、夜間と高速度において情報処理速度が小さくなった。

このように、運転者は走行条件によりその視覚的な挙動を的確に変え、外的な条件に合わせて走行していることが示された。眼球運動そのものについては、運転者が最も大きい要因であったが、視点の位置や対象物の選択に関しては道路線形が大きな要因となっていた。その理由は、視野映像内で連続的に動く物体に運転者の視点が集中しているからであろう。

今後の課題として、より広い運転レベルの被験者の測定実験を行うことが必要であろう。それにより、運転者が必要な情報が何であるのか、また運転者に伝達できる情報量がどの程度であるのかをより明確にし、安全で高度なレベルの道路環境の整備のための基礎的な資料としたい。

参考文献

(1) Mourant,R.R. and Rockwell,T.H. : " Strategies of visual search by novice and experienced drivers", Human Factors, Vol.14, No.4, pp.325-335, 1972

(2) 萩原亨、加来照俊：「ﾋﾞｼﾞｭｱﾙ・ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝによる運転者の視線解析手法について」、土木計画学論文集、Vol.7,1989

(3) 萩原亨、加来照俊：「運転者の注視点とその評価に関する研究」、土木計画学研究論文集、Vol.6,1988

(4) 萩原亨、加来照俊：「吹雪時における運転者の視覚挙動について」、土木計画学研究論文集、Vpl.8, 1990

(5) 加来照俊　他：「視界不良時における標識の視認性と運転者の挙動について」、佐川交通社会財団課題研究報告書、1988

(6) 福田忠彦、山田光穂：「新しい注視点情報解析装置とその放送への応用」、人間工学全国大会、Vol.20, pp.52-53, 1984

(7) M.Yamada and T.Fukuda : "Quantitative Evaluation of Eye Movements as Judged by Sight-Line Displacements", S.M.P.T.E.Journal, Vol.95, No.12, pp.1230-1241, 1986

(8) 山田光穂、福田忠彦：「視線情報を用いた画像の客観分析」、NHK技研 R&D, No.2,1988

(9) 林知己夫、駒沢勉：「数量化理論とデータ処理」、朝倉書店、1982

(10) 河口至商：「多変量解析入門Ⅰ、Ⅱ：数学ライブラリー32」、森北出版、1973

(11) 田中豊、垂水共之、脇本和昌：「パソコン統計解析ハンドブックⅡ：多変量解析編」、共立出版、1984

(12) 駒沢勉、橋口捷久：「パソコン数量化分析」、統計科学選書2　赤池監修、朝倉書店、1988

(13) H.Marko:"Information Theory and Cybernetics, IEEE Spectrum, Vol.4, No.11, 1967

(14) C.E.Shannon:"Prediction and Entropy of Printed English, B.S.T.J., Vol.30, No.1, 1951

(15) D.Yavuz:"Zipf's Law and Entropy",IEEE Trans. on Information Theory, Vol.IT-20, No.5, 1974

(16) 細井勉：「計量言語学からみた日本語の冗長性」、数理科学、No.77, 1969

(17) 宮川洋：「画像エレクトロニクスの基礎」、コロナ社、1975

(18) G.C.Sziklai:"Some Studies in the Speed of Visual Perception", IRE Trans. on Information Theory, Vol.IT-2, No.3, 1956

(19) A.J.Goldstein, et al:"Indentification of Human Faces", Proc. IEEE, Vpl.59, No.5, 1971

(20) H.Quastler : " Studies of Human Channel Capacity", in Information Theory, 1956

(21) J.R.Pierce and J.E.Karlin:"Reading Rates and the Information Rate of a Human Channel", B.S.T.J., Vol.36, No.2, 1957

(22) 難波誠一：「画像情報量と提示時間」、NHK技術研究、Vol.35, No.1, 1983

(23) 吉田辰夫：「視覚系における情報処理の速度」、NHK技研月報、VOl.39, No.1, 1987

(24) D.A.Rumelhart : "Human Information Processing",John Wiley & Sons, 1977, 御領（訳）、「人間の情報処理」、サイエンス社、1979

第１０章　結　　論

本論文は運転者の視点について、眼球運動測定装置の導入・視点解析システムの開発・運転者の見方を評価する指標の検討と各段階での研究の成果を一貫して取りまとめたものである。

本研究で得られた主要な成果は以下のようなものになる。

１０．１　"Vision Analyzer"の運転者の眼球運動測定への導入

"Vision Analyzer"を初めて運転者の眼球運動の測定に導入した。"Vision Analyzer"の利用から、従来のシステムでは不可能といえる条件での実験が可能となり、かつ大量のデータ処理ができるようになった。運転者の眼球運動に及ぼす走行条件の影響について分析した。分析に用いた評価指標は、視点の水平分布、注視時間、視点移動距離である。

・同じ被験者で走行条件が類似している場合の視点分布はほぼ同じであった。特に、運転に慣れている被験者は、毎回ほとんど同じ視点分布を示した。

・走行条件の違いが視点分布に現れる影響は、被験者により程度の違いは見られたが、同じ傾向を示した。

・大型車運転時は、乗用車運転時に比べて視点を頻繁に大きく動かしていた。大型車を運転している場合、注視時間は乗用車の時より約3割程度短くなり、注視移動距離は約2倍に長くなった。

・昼間と比較して夜間において被験者の視点が動く範囲は狭くなり、注視時間は延びた。

１０．２　運転者の視点の３次元視点位置とその評価手法

運転者の視点と道路の関係をシステム化することから、従来の研究で示されたきた運転者の見方を定量的に示した。

頭部運動を測定する方法を導入し、眼球運動のデータと合成した。その結果、運転者が見た位置を三次元的に求めることが可能となり、視点と道路空間の関係を計算機内で結び付けれるようになった。

運転者の情報収集パタンを評価する新しい手法を導入した。運転者の視覚行動は道路環境を情報源とする情報の収集であると仮定し、情報量の期待値であるエントロピーを指標として、情報収集パタンを評価した。これにより、運転者が運転中に得ている情報量を推定した。

以上のようなシステムと評価手法を用いて高速道路で実車実験を行った結果をまとめる。

・運転者の眼球運動と頭部運動を測定し、運転者の３次元視点位置を解析するシステムを確立した。

・道路全体を３次元空間内に表現し、運転者の視点と道路線形を３次元空間に合成表示した。

・３次元視点位置から、曲線区間における運転者の視覚探索パタンを示した。カーブに進入する直前の区間において前方のカーブに関する情報を探るため遠くと近くを交互に見ていた。一方、カーブ区間では、先に得た情報を修正しながら車両を安定して走行させるために比較的近距離のカーブ外側線を見ていた。

・運転者の注視時間を視覚対象物別に求めた。曲線区間においては、４名の被験者とも平均で0.4secの注視時間が測定された。直線区間では平均で約10%曲線区間より注視時間が延びる結果を得た。

・運転者の視点距離を、道路区間別（50 m）に求めた。区間別の平均視点距離を求めた結果、近距離と遠距離を交互に見ていた。

・運転者が視覚により道路環境から得る情報を定量化するため情報理論の導入を行った。道路線形・道路上の構造物・見通し距離（視距）等の道路環境により変動する運転者の情報収集パタンをエントロピー値から示した。

・曲線区間と直線区間の情報収集量の違いをエントロピー値で示した。曲線区間において運転者は速度を低下させるなどの行動により多くの情報を得ようとしていた。直線区間で運転者が得ていた情報量は、曲線区間の７割程度であった。

１０．３　新しい視点解析システム

運転者の３次元視点位置を求めビデオ映像に再合成する視点解析システムの開発を行った。従来の視点解析システムの最も大きな問題点であった視点と映像の関係のあいまいさをなくすことに成功した。

視点と映像の関係を再現するためには、ビデオカメラの向きを人間の感覚から調整する必要があるが、従来のシステムではこの調整があいまいであった。実験時においてこの調整を行うため、実験により得られたデータの精度にも大きなバラツキが発生していた。

新たに開発した視点解析手法とその適用結果をまとめる。

・本システムでは、実験後に視点と映像を合成する手法を応用した。眼球運動、頭部運動・道路線形・走行速度の測定値が必要となる。

・３次元視点位置は、眼球の方向と頭部の方向の合成方向と道路空間が交差する点から求めた。

・３次元視点位置を画面に表示するシステムに、３次元グラフィックの考え方を導入した。映像を撮影したビデオカメラと同じ位置から同じ画角で視点を表示し、映像と合成した。

・運転者の視点を表示する視点座標系とビデオカメラの視点座標系が一致するため、視点と映像内の視覚対象物の関係が明確になった。

・運転者の３次元視点位置の計算と視覚対象物の位置データの入力により、視覚対象物の判断が座標値の計算から可能となった。

・新しい視点解析システムによる視点位置の精度を角度により評価した。視点位置の誤差の平均値は0.48degであった。眼球運動と頭部運動の測定精度及び人間の視覚制御系から考えて十分な精度が得られた。

・新しい視点解析システムを用いて視点と映像の合成映像を作成する作業は、実験後の処理になる。リアルタイムに測定できるようなシステムの開発が課題である。

１０．４　吹雪時における運転者の視覚挙動

吹雪時における運転者の視覚挙動について多角的に検討した。吹雪時における安全走行を確保するための具体的な対策を考える上で、吹雪時の運転者の視覚的な状況を把握することは重要である。

そこで、"Vision Analyzer"の特性を生かして吹雪の中で視点の測定を実車走行により実施した。実車による測定実験は、国道40号線の稚内市に近接したサラキトマナイ地区で行った。視程距離が200m以下での測定を実施することができた。

そして、新しい視点解析システムを応用し、運転者の視覚挙動を評価した。

・映像による視点の解析
・視点の移動角速度による解析
・注視挙動による解析
・三次元視点位置による解析
・運転者が得ている情報量による解析

吹雪時の運転者の視点の測定を行い、様々な評価指標を用いて視程距離と視点に関して分析した。これらの結果をまとめる。

・先行車や対向車がない直線路を視界が悪化した状況で走行するとき、運転者はとにかく見えるものに視点を集中させた。同様に、カーブ区間を走行する場合、視線誘導標を有効に利用していた。

・運転している状態では、眼球運動の50%以上が随従運動であった。これは、運転において絶えず移動する物体を追跡しているためと思われる。視程距離が短くなるにつれて短時間内の物体の認識が困難となるため注視時間がより多く必要となり、短い移動角速度の比率が高まった。

・視程距離が短い場合、一度の注視では視覚対象物を認識できないため、２種類の注視パタンがあった。同じ視覚対象物を短い時間内で繰り返し注視するパタンと一回に注視する時間を延ばして視覚対象物を確実に認識するパタンがあった。

・視程距離が短くなるにしたがって視点は集中した。しかし、集中する位置は被験者により様々であった。

・ファジイ・エントロピーによる解析から、吹雪時の運転に熟練した被験者は、視程距離が短い状況において多くの情報を得れる視覚挙動を示した。

１０．５　運転者の情報収集パタンと走行条件

種々の走行条件で測定した視点の結果から、走行条件と運転者の情報収集パタンとの関係について細かく分析した。走行条件は、速度の高低、昼夜、先行車の有無と道路線形の４つである。

実車実験は、高速道路で実施した。一般道路では統制されない変数が極めて多く、環境のごく限定された側面だけを統制してもその要因の影響が埋もれてしまう可能性があるからである。

視点の動きを評価する指標についてまとめる。運転者の眼球運動の動きから注視時間と随従運動の時間を求めた。視点の３次元位置とその分散値を求めた。画像の情報量を算定する手法を用いて、運転者が注視を行っているときの情報処理速度を求めた。通常の状況で人間が限界としている情報処理速度と比較した。

以上のような解析により得られた結果をまとめる。

・運転中の眼球運動の過半数は、随従運動であり、動的な物体を追いかけることに眼を使っている。

・眼球運動に与える様々な影響を、数量化１類を用いて分析した。その結果、被験者の影響が最も大きく、次に昼夜の影響が大きかった。

・運転者から見ている映像の動きが激しくなってくると随従運動が増す。反対に、直線区間のように動きの小さい場面では、注視運動が増えた。

・暗くなると視点位置は、明かりのある部分に限られるため、視点位置は手前の左側を見る場合が多くなりしかも長く一つの物を見るようになった。

・速度を速くすると見る位置は遠くなると同時に左右の動きが少なくなり縦断方向の動きが激しくなる。

・眼球運動そのものについては、運転者が最も大きい要因であったが、視点の位置や対象物の選択に関しては道路線形が大きな要因となっていた。

・画像の情報量の定義を用いて、運転中の情報処理速度を求めた。その結果、人間が通常行っている情報処理速度を越える値となった。

謝　辞

本論文は、著者が昭和59年4月に北海道大学工学部・助手に採用されてから、現在（平成3年11月）までに従事してきた運転者の視点に関する研究をまとめたものである。その間、非常に多くの諸先生、諸先輩の方々から有意義な御指導、御助言、など多くの恩恵を賜った。

とりわけ、本研究をまとめるにあたって北海道大学工学部の加来照俊教授からは、研究の基本理念と方法について常に適切な御指導を賜ると同時に公私にわたり一方ならぬ御配慮をいただいた。加来照俊教授には衷心より深謝の意を表す次第である。

次に、北海道大学の五十嵐日出夫教授、村山正教授、斉藤和雄教授からは本研究に対して有益な御助言をいただくと共に、多くの御指導を賜った。ここに、諸先生の御指導に対して謹んで感謝の意を表する次第である。

また、本研究の全般に渡り、北海道大学工学部の中辻隆講師からは、適切なる御助言と有用な示唆を与えて戴いた。北海道大学工学部の藤原隆助手からは、研究の進展に関する数々の有益な情報を与えて戴いた。ここに謹んで感謝の意を表する次第である。

実験は現場実験を多数行ったが、北海道大学工学部の小野寺雄輝技官には、計画、準備、実施に渡って多大な御協力を戴いた。また、研究室の学生諸君には、実車実験の実施に献身的な協力をいただいた。ここに深謝の意を表する次第である。

最後に、本研究では多くの実験を実施しているが、その実施に御協力いただいた北海道警察本部交通部、北海道開発局開発土木研究所、日本道路公団札幌建設局、いすず自動車北海道試験場の関係各位に心から御礼申し上げる次第である。