

人間の環境情報処理から見た 交通事故原因解析手法構築の可能性について

景山一郎^{*}

荒井章好^{**}

栗谷川幸代^{***}

本研究は、交通事故の原因解析を、ドライバの情報処理という立場から検討を行ったものである。人間の操縦ミス等により事故が多発していると考えられる場所を選定し、この場所におけるドライバの操縦動作を計測した。この結果を基に、ニューラルネットワークを用いドライバの操縦動作を再現するモデル構築を行った。次にこのモデルを用いて因子解析を行い、事故多発地点と事故のほとんど起こらない地点の比較検討を行い、情報処理に大きな違いがあることを示した。最後に、このコース通過時のドライバの心負担計測比較を行い、その概要を把握した。これにより、人間の情報処理から見た交通事故原因調査手法構築の可能性について示すことができた。

On a Possibility of Construction of an Analytical Method for Cause of Traffic Accidents at the Viewpoint of Information Processing by Driver

Ichiro KAGEYAMA^{*}

Akiyoshi ARAI^{**}

Yukiyo KURIYAGAWA^{***}

This research deals with a possibility of construction of an analytical method for cause of traffic accidents at the viewpoint of information processing by driver. At the first step of this research, we chose a place concentrated traffic accidents which was caused by human control error. On the course, several experiments by an ordinary driver has been done, and not only the vehicle behavior, environmental condition and mental stress of the driver were measured. To use the results, we constructed a neural network driver model which described the control manner of the driver. Next, we analyzed the effect of each input to the outputs, especially to the breaking action using the model at the viewpoint of information processing by a driver. Finally, it is found that the analytical method to describe in this research has a possibility to analyze the course of traffic accidents.

1. まえがき

近年、我が国における道路交通事故は増加傾向にあり、また交通事故死者数は昭和63年以降連続して

1万人を超え、昨年度は1万人を若干下回ったとはいえ、未だに大きな社会問題となっている¹⁾。このような交通事故の発生要因としては、人的要因、環境要因、車両要因、ならびにこれらが相互に深く絡

* 日本大学生産工学部機械工学科教授
Professor, College of Industrial Technology,
Nihon University

** 日本大学大学院生産工学科研究科博士前期課程
Graduate School of Industrial Technology,
Nihon University

*** 日本大学大学院生産工学科研究科博士前期課程
Graduate School of Industrial Technology,
Nihon University
原稿受理 1998年6月1日

●この論文は、(財)国際交通安全学会研究調査プロジェクトH939「人間の環境情報処理から見た交通事故多発地点の原因解析」をもとにまとめられた。

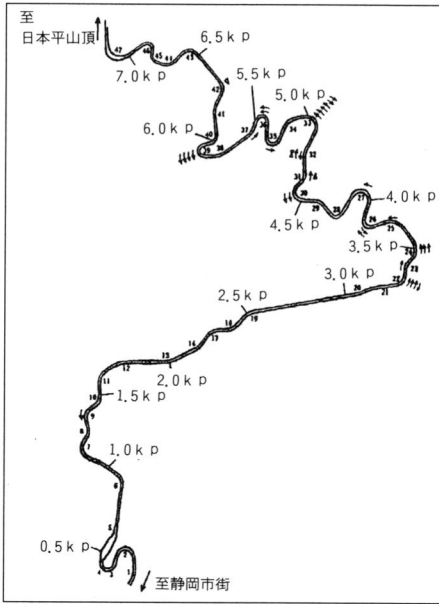


Fig.1 日本パークウェイ事故発生状況¹⁾
(昭和62年～平成元年上半期)

み合った人間・自動車・環境系の総合特性を要因とするものなどが上げられる。そこでこれらの各要因に注目し、それらを詳細に分析することによる事故発生原因の特定、ならびにその成果を生かした事故抑制への提言が、交通安全の立場から重要と考えられる。しかし、一般的に交通事故は偶発性が高いものと考えられており、おのずとその研究は、発生した事故の統計的な解析によりその発生原因を抽出しようとする試みや、発生した事故状況を力学的に解析し、事故の発生から自動車の変形に至るまでの事故再現という観点からの原因推定等、過去の事故に対する原因解析に重きが置かれている。

これら発生要因のなかでは、操縦者の認知ミス、判断ミス、居眠り等、人的要因が大半を占めているといわれており、交通事故を減少させるためには、特に人的要因に関する検討が重要となることは言うまでもない。

他方、同様なコース形状が連続するような道路環境において、交通事故がある特定のカーブに集中して発生しているという事故調査が報告されている²⁾。Fig.1にこの報告にある静岡県の日本パークウェイにおける昭和62年から平成元年上半期における事故多発地点を示す。このような場所における事故発生件数は、その場所における交通総量から見るとわずかではあるが、事故が集中して発生する場所などでは、単に偶発的な原因であると片付けることはでき

ない。このような交通事故では、操縦者の認知ミス、判断ミス等が主要因と考えられるため、このような道路環境下ではドライバの情報処理の観点から、事故要因を検討してゆくことが重要であると考えられる。しかしこれまでそのような研究報告はほとんどなく、またそのような解析に対する手法確立が行われていないのが実状である。

本研究ではこのような立場から、前述の事故多発地点および道路環境が類似しているが事故が発生しにくい場所を例として取り上げ、そこを通過した場合のドライバの操縦動作の比較から、ドライバの情報処理過程を解析する手法確立の可能性について検討を行う。

2. 情報処理解析のためのドライバモデル構築

ドライバの情報処理解析を行う場合、実験結果を直接解析する手法と、実験結果を再現しうるモデル構築を行い、そのモデルを用い解析する方法とに分けられる。実験的な解析では、ドライバの強い非線形性や時々刻々変化する情報処理を明確に判別することは難しい。また後者の場合は、AR法他いくつかの手法が提案されドライバの操縦動作解析に用いられているが、本研究で対象とするような、非常に複雑な環境情報処理解析を行うのは困難となる。これに対し、近年、事前の制御アルゴリズム構築を必要とせず、また強い非線形性をも表現することができるニューラルネットワークシステム(以下NNSと略す)を用いたドライバモデル構築が行われている³⁻⁵⁾。

そこで本研究では、このNNSを用い、情報処理解析用のドライバモデル構築を試みる。

2-1 モデルの構築

通常、ドライバは車両の状態量と環境情報を入力して、希望進路に追従すべく車両制御を行っているものと考えられる。この場合のドライバの出力としては、操舵、アクセル、ブレーキなどが考えられ、これらを用い円滑に操縦動作をこなしていることになる。また、このようなドライバの運転動作には強い非線形性が含まれている。そこで本研究では、このようなシステムの同定に最適なNNSを用いてモデル化を行う。NNSを用いてモデルを構築する際、そのシステムの入出力情報を選定する必要がある。そこで、ドライバが車両に与える入力(ドライバモデルの出力)として操舵トルク、アクセル開度、ブレーキ踏力とした。

ドライバへの入力としては、車両の状態量および

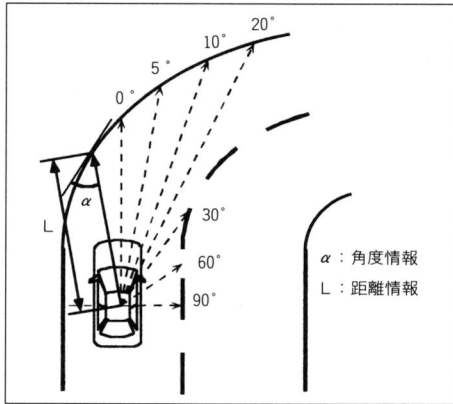


Fig.2 レーダサイト形式の環境情報

車両を取りまく道路環境情報の二つが考えられる。車両の状態量としては、ヨー方向、ロール方向、ピッチ方向、前後方向および横方向運動を考え、またハンドル系の運動も考慮した。そこでこの入力としては、ヨー角、ヨー角速度、ヨー角加速度、ロール角、ロール角速度、ロール角加速度、ピッチ角、ピッチ角速度、ピッチ角加速度、前後方向速度、前後方向加速度、横方向速度、横方向加速度、横すべり角、ハンドル角、ハンドル角速度、ハンドル角加速度の17項目とした。これらの車両の状態量に対し、ドライバの操縦動作は遅れを有していると考えられる。そこで、各々の車両の状態量に関して人間の反応遅れを考慮して、0(s)、0.2(s)、0.4(s)、0.6(s)前の情報を用いて計68入力とした。

次に、本ドライバモデルを構築するためには、制御動作を事前に規定することなく環境情報を表現する必要がある。そこでFig.2に示すレーダサイト形式による距離と角度情報を道路環境情報とした。これは、車両の進行方向に対し、正・負の角度を持った車両の重心点を基準に複数の視線を考え、これと路肩またはセンターラインとの交点までの距離Lを距離情報、およびその時の交差角 α を角度情報として道路環境を表現するものである。これによりドライバが通過可能な道路領域を表現し、多様なコース形状にも対応する。またあらかじめ制御アルゴリズムを規定することなく、道路の情報を汎用的な入力とすることが可能となる。ここでは、道路環境を十分に表現するため、進行方向を0度とし、これを基準に左右に5、10、20、30、60、90度方向とした13項目の距離と角度情報を用いて計26入力とした。これらの入出力の情報を考慮した

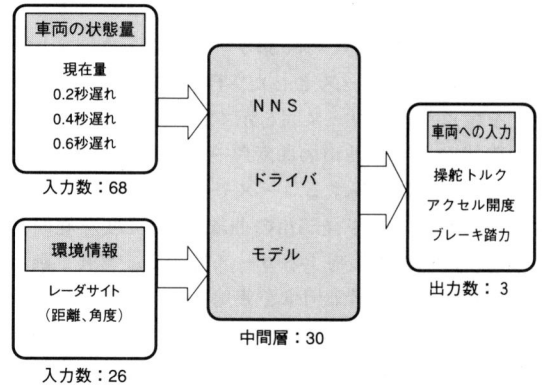


Fig.3 モデルの基本構成図

ドライバモデルの基本構成図をFig.3に示す。本モデルで使用したNNSは、3層構造のもので入力層94要素、出力層3要素とし、中間層は試行錯誤の結果30要素とし、各カーブに対して誤差逆伝搬法により学習を行った。

2-2 学習データ取得のための実験

NNSでモデルを構築する際、学習データとして、そのシステムの入力と出力のデータのセットが必要となる。そこで本節では、必要な学習データを得るために行った実車実験について述べる。前述の事故調査で示されている道路区間は、Fig.1で示した日本平パークウェイであり、片側1車線の対面通行の道路である。

この図において下側が山麓方向で、上側が山頂方向を示している。また図中の矢印は、その矢印が指す進行方向での昭和62年～平成元年の上半期に発生した人身事故の数を表している。本研究ではこの47個のカーブのうち、ほぼ同様な道路形状および周りの環境を持つ事故の多発しているカーブと、事故発生が少ないカーブに対して実車実験を行い、ドライバの制御動作、車両の状態量、コース形状および走行軌跡を計測した。事故のほとんどないカーブとし

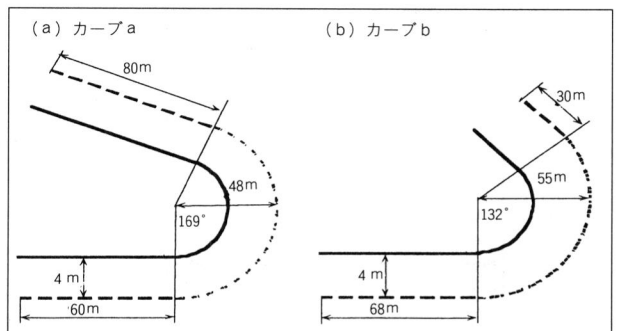


Fig.4 実験コース

てはNo.27カーブ（以下カーブa）を、事故の多発しているカーブとしてはNo.33カーブ（以下カーブb）を実験の対象コースとした。Fig.4にそれらのカーブを含んだ対象コース図を示す。カーブaは、60mの直線から半径48mの曲線路を169度左旋回し、80mの直線路に復帰するコースであり、カーブbは、68mの直線から半径55mの曲線路を132度左旋回し、30mの直線路に復帰するコースである。実験車両は、国産2200ccの普通乗用車を使用した。また被験者数は13名とした。各被験者に対して走行速度などの細かな指定は行わず、一般道路における走行を意識して静岡市側から山頂へ向かうコース全体を走行し、その一連のデータから各カーブの実験結果を抽出した。

なお、環境情報として採用したレーダサイト形式のデータは、車両の応答から算出した車両の通過位置、姿勢角およびコース上における車両軌跡を用いて算出した。

2-3 モデルの検証

本モデルは、ドライバが行った操縦動作を詳細に

再現することを目的とするため、学習に用いた実験結果をどの程度表し得るかを検証する必要がある。そこでFig.5に操縦者の応答であるカーブaの操舵トルク、アクセル開度、ブレーキ踏力の学習結果と実験結果を示す。図中の点の実験結果であり、実線が構築されたモデルの出力結果である。図より明らかなように、ドライバの応答について実験結果と学習結果は詳細にわたり非常によく一致しており、本モデルがドライバの制御動作を十分に表現しているものと考え、以後の解析に用いる。なお、カーブbにおいても同様な一致をみた。なお、ここでは被験者を年齢47歳、運転歴30年の男性1名に限って示したが、他の被験者においても同一のモデル構造で同様な結果を得た。

3. 評価のための心負担解析

人間が機械系を制御する場合、人間の適応性が非常に高いため、制御のし易さ等の影響が制御成績にはあまり表れないことが多い。しかし、その適応のための努力は、人間にとって大きな心的負担（以下心負担）となる可能性がある。そこで、ドライバにおいても操縦のための環境情報処理が心負担となる可能性があり、この度合いが逆に情報処理自体に影響を与える可能性がある。この考えに立ち、運転中のドライバの操縦動作計測時に心負担計測を行い、そのお互いの関係を把握する必要がある。人間の心負担計測には種々の方法が取られるが、本研究では時系列的にその影響を把握する必要性から、生理的反応を用いる。

3-1 解析手法

人間の心拍（ここではR波とR波のピーク間時間とする）の時系列的変動に注目すると、同一の心負担状態であっても常にその値が変動しており、これを心拍のゆらぎと呼ぶ。近年、この心拍のゆらぎを用いた心負担推定手法が注目を集めており、そのメカニズムもかなり解明され⁶⁾、解析手法も確立されてきた⁷⁾。前述のR-R間隔の時系列変化を周波数解析すると、0.1Hz付近に血圧性変動によるピーク(MWSA)が、また0.3Hz付近に呼吸性変動によるピーク(RSA)が表れるが、これらのピークは主に交感神経と副交感神経の活性度合いを反映している⁶⁾。

通常、自動車運転状態では心負担により血圧性変動のピークは上昇し、また呼吸性変動のピークは減少する。そこでこの二つのピークの変化を観察することにより、人間の心負担の変化度合いをある程度

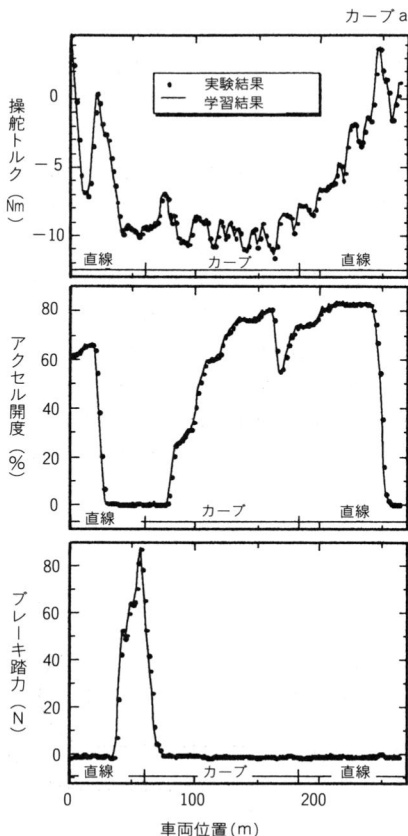


Fig.5 実験結果とモデル出力との比較

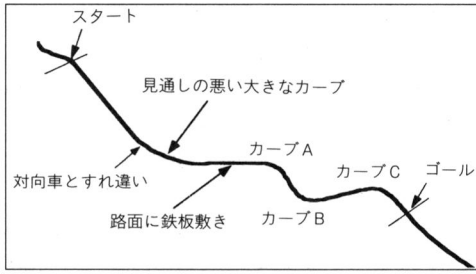


Fig.6 心負担確認実験コース

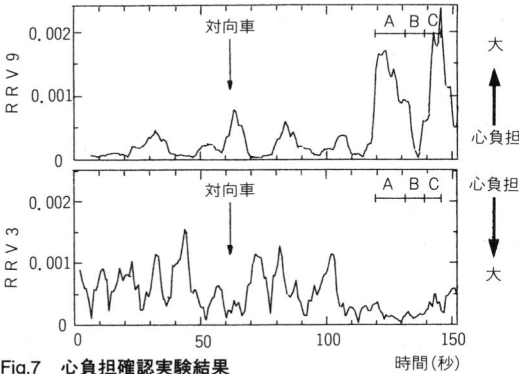


Fig.7 心負担確認実験結果

推定することができる。そこで本研究では、心拍変動をバンドパスフィルタを用い、振幅の二乗平均で表した値で時系列的にこの二つのピークを解析する手法を採用する^{8,9)}。

3-2 評価例

上記手法を用いた運転状態の評価確認のため、日本自動車研究所内の外周路(幅約4m片側1車線対面通行)を用い確認実験を行った。

Fig.6に使用したコースを、またFig.7にその結果を示す。図中のRRV9は前述のMWSAの影響を主に表しており、交感および副交感神経の活性度の指標となり、運転中はその値の増加が心負担の増加方向と一致する。また、RRV3は同様にRSAの影響を主に表しており、副交感神経の活性度の指標となり、その値の減少が心負担の増加を意味している⁸⁾。応答性はRSAがMWSAに比べ速いため⁶⁾、RRV9に若干の遅れが見られるが、これらの結果より対向車とのすれ違い時、カーブ区間走行中等に心負担が大きく表れることが明確に読みとれる。そこで本研究では、操縦者の心負担度合いを推定するために、以後の解析に本手法を用いる。

4. 操縦者の制御動作解析

前章において構築したモデルは、ドライバの操縦動作を詳細に表現しているため、このモデルの内部

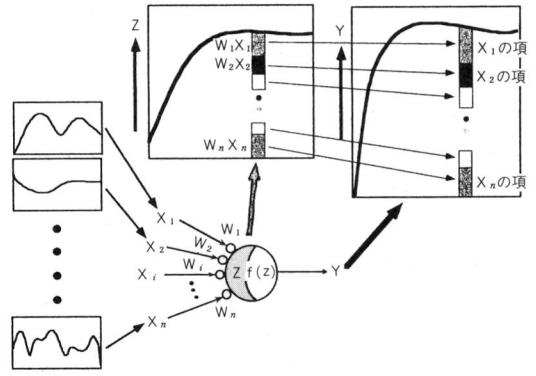


Fig.8 因子解析の概念

を解析することにより、ドライバが時々刻々操縦に用いている情報等を解析することにより、制御アルゴリズムの概要把握を試みる。このような解析が可能であれば、本研究の目的であるドライバの情報処理過程を解析する手法確立の可能性を主張できることになる。このようなモデルの内部状態を解析するためには、二種類の解析方法が考えられる。一つが感度解析であり、これはモデルの出力が個々の入力の変化に対しどの程度変化するかについて検討するものであり、ドライバの現在の操作量(モデルの出力)が個々の入力情報変化に対しどの程度の感度を持っているかという観点から解析する。他の一つが因子解析であり、これはドライバの現在の操作量がどのような入力の成分で構成されているかに注目した解析である。本研究では、後者の因子解析を用いて検討を行う。

4-1 因子解析の概要

解析にあたり、本モデルがNNSで構築されていることから、まずFig.8に示す1個のニューロン(ニューラルネットの構成要素)を考える。ニューロン内の計算過程は、第一に図中のようなある入力 X_i に重み W_i が掛けられ、積 $W_i \cdot X_i$ をつくる。次に各入力に重み付けされた $W_i \cdot X_i$ を線形結合し、内部状態 z が求められる。この z が出力 Y を算出するための出力関数 f の引数となる。そこで、このように出力関数の引数には z が用いられるため、出力 Y は z における個々の入力を重み付けした $W_i \cdot X_i$ の比で分けることが可能となる。したがって、この解析をNNSの情報伝達の流れにそって全体のニューロンに拡張すれば、ある出力に対する各入力の構成比率を求めることができる。

また、NNSは強い非線形性を有することから、この構成比率は時系列的に変化することが容易に想像

されるため、走行コース全体に対してこの構成比率を求める必要がある。本研究では、この手法を因子解析と定義する。

4-2 解析結果

前述の事故調査では、事故原因として勾配が下りから上りに変化する場合、進入中の車両から前方のカーブを見ると、現在の勾配および前方の勾配を正しく認知する手がかりに乏しいため減速を誤りやすい点、および事故の多くは反対車線に飛び出したり反対車線側のガードレールに衝突することから、その直接的な原因は速度制御にあるものと結論付けられている²⁾。そこで本研究では、ブレーキ踏力に対する入力構成比率に焦点を当てて検討を行う。また本研究では勾配を直接考慮はしていないが、車両の状態量として考慮したピッチ角は水平状態からの角度として入力しており、ほぼ勾配と同様な値を表している。

まず、前述の解析結果をブレーキ踏力に対して、各種入力の影響を各情報形態ごとにまとめ、全体を100%とし、個々の入力形態がブレーキ操作全体に占める割合を計算したものをFig.9(a),(b)に示す。この図における枠部分は緩和曲線を含めたカーブ部分を示している。この図より、環境情報（角度情報+距離情報）が全体の約40%程度を占めており、他が自動車の運動情報により操縦していることがわかる。また個別に見ると速度、距離情報、角度情報の影響が大きいことがわかる。なお、前述の文献で影響度が大きいと推定された勾配については、ピッチ角の影響度で推定することができる。しかしその影響度

は少ないとはいえないが、前述の情報と比較して優位なほど大きいとはいえない。

次に各カーブの比較について検討を行うと、カーブaの結果では各種入力複雑に、また頻繁に入り交じっている。しかし、カーブbの結果を見ると、各入力の成分が滑らかに変化していることがわかる。これは、事故の少ないカーブでは個々の入力情報の重み付けを大きく変化させているのに対し、事故の多いカーブではこの比率をあまり変えず、単調な情報処理を行っていることを意味する。

次に、文献の結果に絡んだ速度と道路形状を表す距離情報の因子解析結果について検討する。まず、前述の表示方法と同様に、速度の因子解析結果を入力に対する反応遅れ時間ごとにまとめ、全体を100%とし、各入力全体に占める割合を示したものをFig.10(a),(b)に示す。この結果、各情報形態の結果と同様、カーブaでは各入力の構成比率が複雑に入り交じっていることがわかる。しかし、カーブbでは前述同様構成比率が滑らかに変化しており、またカーブaに比べ全体的に反応遅れが大きくなっていることがわかる。

次に、距離情報の因子解析結果を各方向の視線ごとにまとめ、全体を100%とし、各入力全体に占める割合を示したものをFig.11(a),(b)に示す。カーブaの結果に注目すると、左右方向の割合がほぼ同じになっており、また前述同様構成比率が複雑に入り交じっていることがわかる。しかし、カーブbの結果を見ると、カーブ部分に入ってから右側（センターライン側）の割合が増加し、また前述同様全

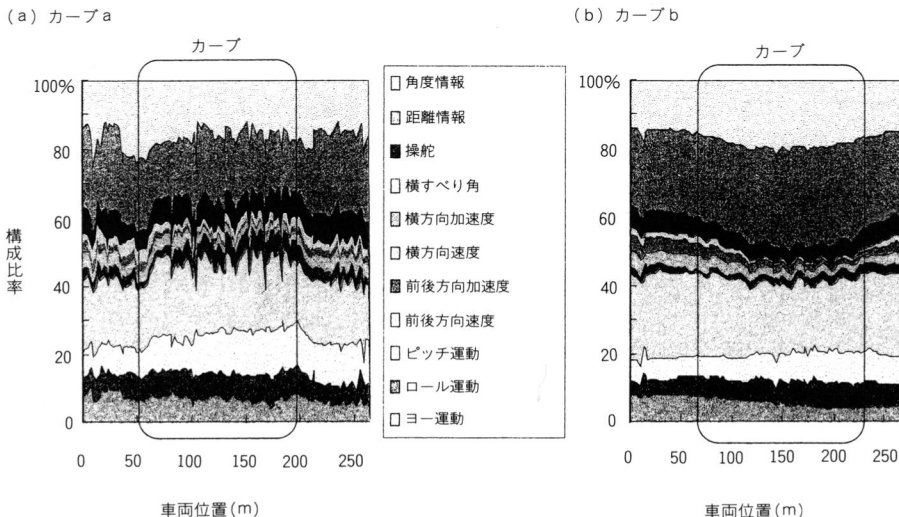


Fig.9 ブレーキ踏力に対する各種入力の比率

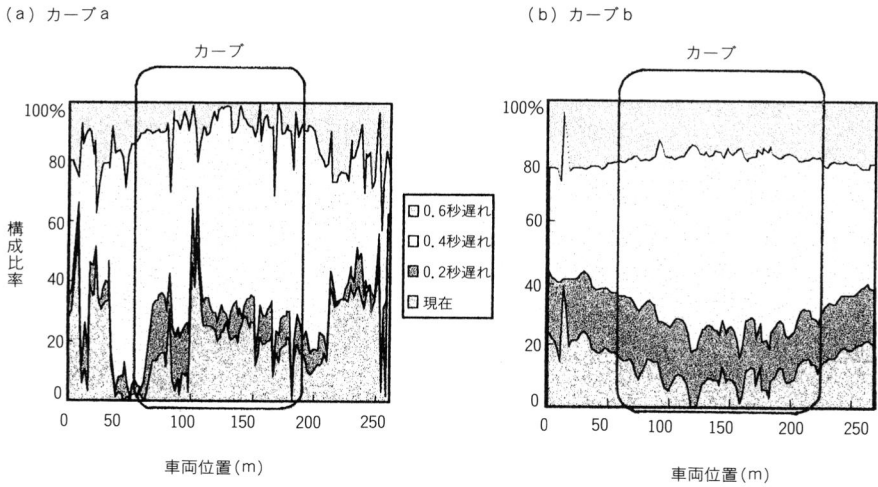


Fig.10 ブレーキ踏力に対する速度項の影響

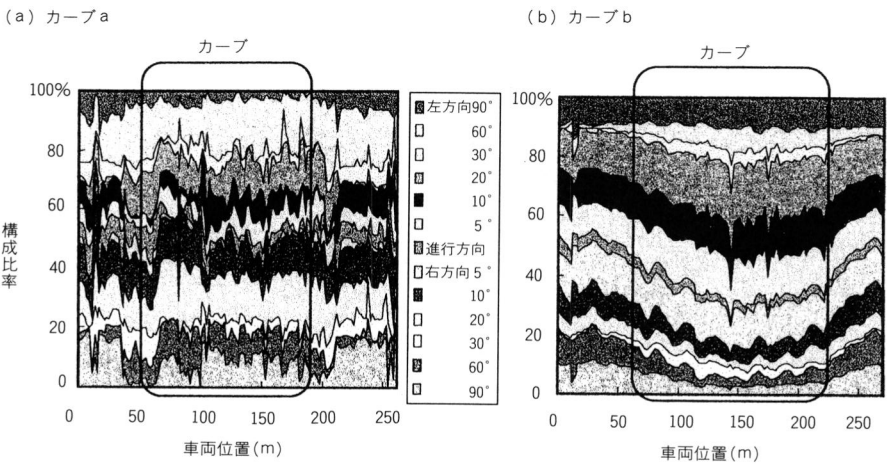


Fig.11 ブレーキ踏力に対するレーダサイトの長さ項の影響

体的に滑らかに変化していることがわかる。このことより、カーブaでは環境全体に対して均等に情報を入手しているのに対し、カーブbでは部分的な情報に偏って操縦していることになる。

4-3 心負担の面からの検討

前節のような情報処理の違いがなぜ生じたかを検討する必要がある。そこでこれらの結果を、前述の人間の心負担の指標として用いられるRRV解析の結果と比較検討する。Fig.12に各カーブ通過時のRRV解析結果を示す。この二つの結果より、カーブbの心負担がカーブaよりも大きいことがわかる。特に応答性の早いRRV3の結果では、カーブaの値が大きく変動しており、カーブ中、心負担の変動がうかがわれるが、全体的にカーブbと比較して心負担の度合いが低いことを示している。この結果は、事故多発地点であるカーブbにおいて、操縦者は環

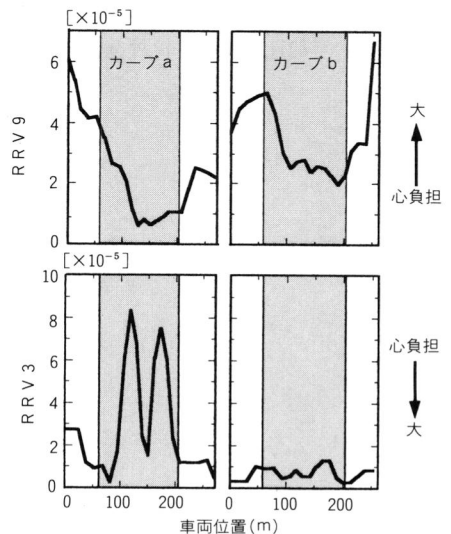


Fig.12 走行中の心負担の変動

境が類似するカーブaよりも緊張度を増加させていることを示している。この結果と前述の入力の構成比率の結果を結びつけると、心負担が増加すると、情報処理のパターンが単純化して、重視する入力情報に偏りが表れることになる。

5. 結論

本研究では、事故の多発するカーブと事故のほとんど発生しないカーブにおけるドライバの制御動作の違いから、交通事故発生要因を解明するためNNSを用いて道路環境情報を厳密に表現するドライバモデルの構築を行い、そのモデルの解析結果から、そのような解析手法確立の可能性について検討した。その結果、以下に述べる結論を得た。

- ・構築されたNNSモデルは、複雑な入出力関係および強い非線形性を含むドライバの制御動作を十分に再現していることが確認された。
- ・事故のほとんど発生しないカーブaでは、ドライバの緊張度合いも比較的小さく、各種入力情報を複雑に処理しているのに対し、事故の多発しているカーブbでは緊張度合いが増加し、単調なまた偏りのある情報処理が行われている。
- ・本研究で構築したモデルは、道路形状の違いによるドライバの制御動作および環境認識の違いを解析できるモデルであることが確認でき、この解析手法が交通事故発生要因の解明の一手法として使用できる可能性を明らかにした。

なお、実験は13名の被験者について実施し、その結果を同一のモデル構造で表現できることを確認しているが、本研究はドライバの制御動作および環境認識の解析手法の可能性について検討を行ったため、

1名の結果に限って示した。

今後、さらに詳細な検討、ならびに種々の状況に対する実験が必要となることはいうまでもない。

なお、本研究は平成9年度国際交通安全学会プロジェクト研究H939の一部として実施された内容であり、関係各位に感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 総務庁編『交通安全白書』平成8年度版
- 2) 田久保ほか「道路線形と交通事故の関連性について」科学警察研究所報告交通編、Vol.32、No.2、1991年
- 3) 藤岡ほか「神経回路網（ニューラルネットワーク）を利用した運転者モデルの研究」『自動車技術会論集』Vol.22、No.2、1991年
- 4) 景山ほか「ニューラルネットワークを用いたドライバモデル」『自動車研究』Vol.14、No.12、1993年
- 5) 景山ほか「ニューラルネットワークを用いた人間自動車系のモデル化」『自動車技術』Vol.48、No.12、1994年
- 6) 井上ほか『循環器疾患と自律神経機能』医学書院、1996年
- 7) 赤池ほか『生体のゆらぎとリズム』講談社サイエンティフィック、1997年
- 8) 渥美「心拍計測によるドライバの意識状態評価」自動車技術会講演会前刷、No.946、1994年
- 9) 景山ほか「心負担推定のための心拍変動のモデル化について」『自動車研究』Vol.19、No.11、1997年