

## 自動車運動分野における安心についての一考察

沢田 護 岡田 稔  
株式会社デンソー

自動車の安全システムは、「衝突」という事象を基点に、如何に衝突しないように自動車側がドライバーをサポートするか、また、如何に衝突直前・後の乗員の損傷を軽減するかに大別される。前者が予防安全であり、後者が衝突安全である。自動車の安心システムは、未だ定義されていないが、「人馬(車)一体」が安心の切り口であると考えられる。

そこで、本研究では自動車運動システムを、ドライバーと自動車を人と仮定し、人が環境を知覚し、行動する知覚・行動システムとして扱う。このシステムを生態学的なアプローチで考察し、高次の視覚感覚量 $\tau$ を導出する。その検証として先行車に追従する実験を行い、 $\tau$ と自動車運動との相関が得られた。

### A study of trust on vehicle dynamics

Mamoru SAWADA and Minoru OKADA  
DENSO CORPORATION

Vehicle safety systems are usually categorized into how to prevent a collision or how to mitigate damage of occupants at the point of collision. The former is called as "active (preventive) safety", and the latter as "passive safety". There is no definition regarding mutual trust between driver and vehicle so far, however, "people and horse (vehicle) unification" is thought as an important point.

This paper studies a new hypothesis that a driver and a vehicle are defined as a non-dividable perceptive and acting system which can perceive its environment and act by itself. For validating this hypothesis, we define a high-level vision sense unit " $\tau$ " from the view point of ecology and make some tests that the driver follows preceding vehicle. The result of validation shows the tight correlation of the mutual trust between driver and vehicle with  $\tau$ .

#### 1. はじめに

自動車は運動することによって最悪の結果、衝突という交通災害に繋がる。近年、車両保有台数の増加(一世帯あたり1.10台)と共に、自動車事故による死者数が増加傾向にあり、大きな社会的損失を引き起こしている。死傷者数は1970年をピークに減少傾向にあるが、負傷者数は増加している(Fig.1)。

本研究では、まず、自動車運動分野における「衝突安全」と「予防安全」という安全シス

テムを紹介する。安全システムは、ドライバーと自動車運動との関連づけられる。しかし、安心は、自動車運動内のドライバーと環境との関連付けであり、生態学的なアプローチで考察する。

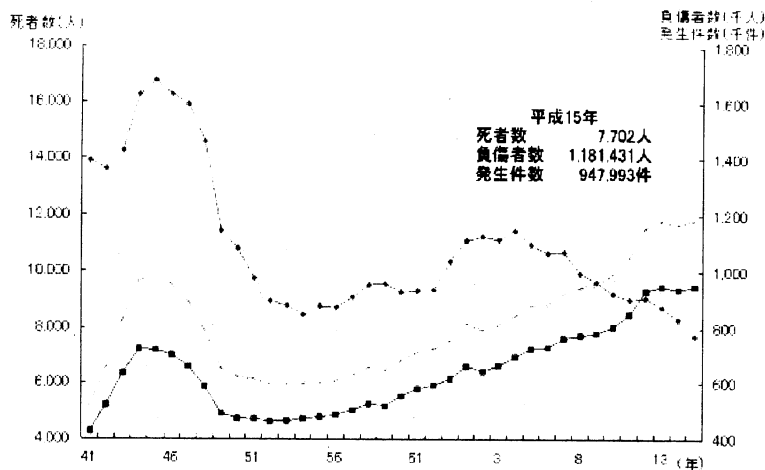


Fig.1 交通事故統計 (出典:国交省)

## 2. 自動車の安全システム.

自動車の安全システムは、衝突という事象を基点に「衝突安全」と「予防安全」に大別され、さらに、「予防安全」は「危険回避」と「運転支援」に分類される(Fig.2).

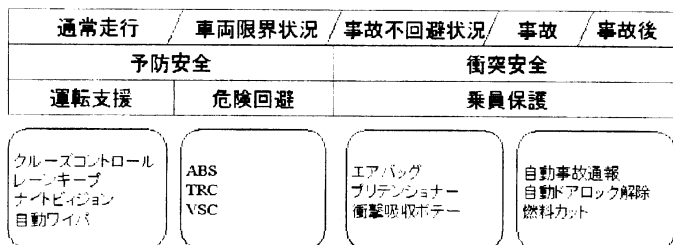


Fig.2 自動車の安全システム

これらを人間系と自動車系のヒューマン・インザループの観点で整理すると以下のようになる。

「衝突安全」は、乗員保護を目的にエアバッグ、シートベルトプリテンショナーが代表的な装置である。仮に乗員が、衝突エネルギーを吸収できる能力を備えていれば負傷することはない。当然、人間にはこのような能力は備わっていないので、乗員の要求に関わらず自動車側が積極的に乗員へのダメージを減少させる機能を提供する必要がある。

「危険回避」装置の代表例である ABS(Anti-lock Brake System)は、ブレーキ操作時に車輪がロックして、車両がスピンに至るのを抑制する機能を実現している。ABS が装着されていない車両では、ドライバーは車輪のロックを知覚してブレーキを緩める行動をしなけ

ればならない。これは、ドライバーが自動車を減速させたい目的で、ブレーキを強く踏む行動指令に対して、自動車側はブレーキを緩める非線形行動指令を要求する。この非線形行動指令を自動車からドライバーに要求しない機能を提供している。つまり、ドライバーは常に自動車運動をコントロールできる状態にあり、衝突という死傷事故を減少させる機能を提供している。

「運転支援」装置は、クルーズコントロールに代表される。ドライバーは、自動車に一定車速で走行させる目的を実現するために、アクセル開度でエンジン出力を指令し速度を一定に保つ行動指令を継続する必要がある。エンジン出力は、その伝達系を介して車輪駆動力となるが、ドライバーの要求はその積分である速度を調整しなければならない。つまり、自動車はドライバーに微分操作を要求するため、長時間走行ではドライバーに与える負担は大きい。クルーズコントロールは、ドライバーのワントリガー指令によって自動車側で一定速度を保つ機能を代行することで、ドライバーの負担から誘発されるヒヤリハットを減少させることができる。

今後、ドライバーと中心とした自動車運動制御系との「信頼関係」を確立し、社会に受容されるトータルシステムへと安全システムは進化し続けている。

### 3. 安心へのアプローチ

ドライバーは自動車を運転する場合、A地点からB地点へ移動するという明確な目的があり、これを実現するためドライバーは、人に危害を与えない、乗員の身を守るための交通ルールを遵守し、運転行動する必要がある。例えば、赤信号であればブレーキを踏んで減速し停止する、前車に追突しないようにアクセルで速度を調整するなどである。つまり、自動車運転においてドライバーは、作業の内容と手順が決まっている労働(タスク)を実行しているとみなすことができる。

労働災害の統計的分析としてハインリッヒ法則が知られている(Fig.3)。これは、『1件の死亡事故に対して軽傷事故が29件、ヒヤリハットが300件ある。さらに潜在的な不安全行動は数多い』という統計的結果である。前章での安全システムを「衝突安全」、「危険回避」と「運転支援」3レベルに分類したが、これらはヒヤリハット以上の顕在する災害を抑制している。そこで、自動車運転における安心とは、「潜在的な不安全行動」の未然防止と定義する。

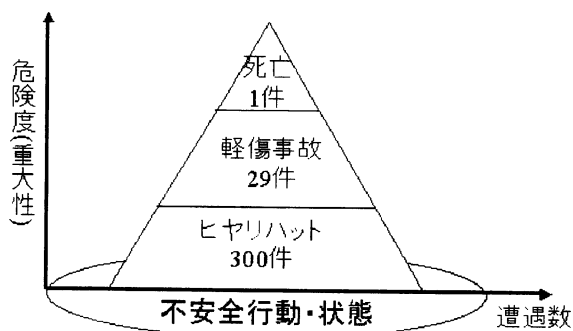


Fig.3 ハインリッヒの法則

### 3.1. 生態学的な運動システム.

自動車を運転するドライバーがタスクを実行することは、人間が中枢による集中制御を行っているといえる。これを人間が行う情報処理の観点から「認知・判断・操作」という3段階に分類するのが一般的である。これら各段階に応じた支援システムも検討されている。

一方、自動車運動システムを生態学的な知覚と行動という観点で考察する。例えば、人は雑踏の中を他人にぶつからないように容易に歩いて目的地に到達することができる。このときの歩行運動には、多様な種類がある。例えば、前が混雑してゆっくり歩いていたときに前が開きそうなので一歩大きく前に出る、左斜め前から他人が歩いてきて接触しそうなので右斜め前に一歩を踏み出すなどであるが、いずれにしても上体のバランスを崩すことはない。これは、歩行運動において、足を出す「運動システム」も高次の知覚システムと高次の行動システムの循環が成立していると言える。自動車運動システムも人が、ちょっと前へ出る、ちょっと右へ移動して障害物を避けるということは何気なくやっている。

### 3.2. タウ( $\tau$ ).

生態心理学では、人の知覚と行動を高次の感覚量  $\tau$  で結びつけられていると考えられている。(Fig.4.)は異なる高さから落下させたボールを打ち返す際のひじ、膝の動きを、接触までの残り物理的接触時間(Fig.4-右)、視覚的余裕時間(Fig.4-左)で表現した結果である。視覚的余裕時間で表現することで、落下させる高さ依存することなく接触の瞬間付近では似通ったひじ、膝の動きをさせていることを読み取ることが出来る。つまり、人の運動システムは物理的時間(ボールまでの物理的距離)を知覚しているのではなく、眼の網膜に射影された像の大きさ・変化から高次の次元の視覚的余裕時間をつくりだし、直接的に行動と結びつけていると言うことができる。

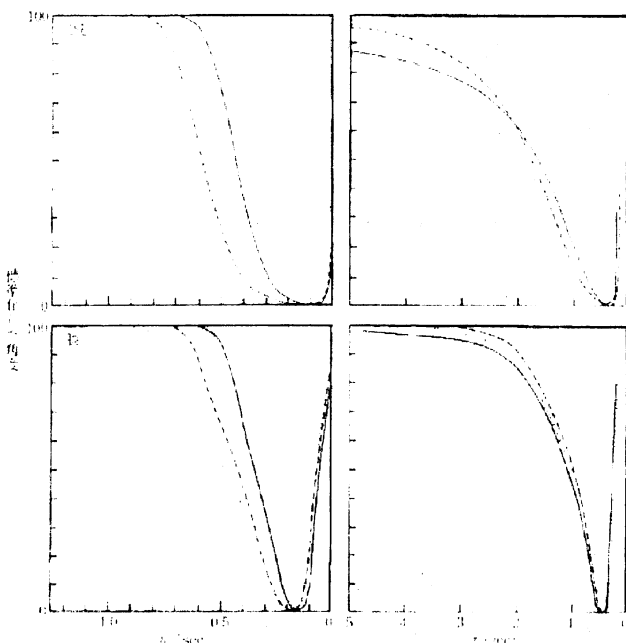


Fig.4  
ボールを打ち返す実験結果<sup>6)</sup>

落下位置  
点線: 7.2m  
破線: 5m  
実線: 3m

$\tau$ の一般式は下記のように表現される。人の知覚器官とは、視覚、聴覚、触覚などを示す。

$$\tau = \frac{\text{人が知覚器官で捉えた刺激量}}{(\text{人が知覚器官で捉えた刺激量}) \text{の変化量}} \quad (3-1)$$

(3-1)式で表現される $\tau$ は、数式上時間という次元をもつ。この $\tau$ が示す時間とは、人が経験・学習を通じて形成される内的 (instinct) 時間であり、この内的時間を用いて人は行動のタイミングを決定していると言われている。

### 3.3. 自動車運動における安心とは。

自動車内に着座するドライバーは、自動車を加速させたければアクセルを踏み込み、自動車を右に移動させたければハンドルを右に切るなどの行動を起こす。その結果、自動車運動は変化し、ドライバーの自己移動感は、視覚刺激(オプティカルフロー)と体性感覚刺激(加速Gなど)の異種感覚の統合と考えられる。しかし、日常運転の自動車運動範囲内であれば、視覚が体性感覚よりも優位であろう<sup>1)</sup>。

いずれにしても自動車運動システムは、ドライバーの高次な知覚システムと高次な行動システムの循環が成立している。この知覚システムへの入力、例えばオプティカルフローにノイズが重畳しているときは、ドライバーに意識しない軽微なストレスを与えるであろう。「軽微なストレスの蓄積が疲労となり不安全行動を誘発する。ドライバーがある一つの操作をする負荷を小さくすることが不安全運転を減らすことができる」<sup>2)</sup>。

自動車運動において、常に車体は微振動している。この微振動は、遠くを見て運転している人の視覚システムへノイズを重畳させる。

### 3.4. 視覚システムへのノイズと乗員の疲労度。

ドライバーが着座しているシートは、車体に固定されているが、車輪接地部分であるバネ下とはバネ、ダンパー系のサスペンションで結合されている。そのため、駆動輪に駆動トルクが作用すると、車体はその反カトルクを受け前上がり状態(スコート)、制動トルクが作用すると前下がり状態(ダイブ)になるなど、常に車体はピッチング振動している。このピッチング振動は、ドライバーの頭を振動させるため、オプティカルフロー情報に振動ノイズを重畳させてドライバーは視覚システムに取り込んでいる。

ドライバーのアクセル開度から決定される要求駆動トルクと路面のうねりなどの外乱で駆動トルクが変化して、車体はピッチング振動を引き起こす。そこで、ピッチレート振動を抑制するように駆動トルクを制御する実験車を製作した(Fig.5)。この実験車を使用して、被験者は東名高速道路2時間の通常走行し、唾液中のストレス物質であるコレチゾールを30分間隔で分析した。また、運転終了後は、被験者は横になって安静になり、同様に30分間隔でコレチゾールを分析した。その結果がFig.6である。自動車から降りると「どっと疲れが出る」現象も数値にあらわれているが、いずれにしても視覚へのノイズを低減させることにより、コレチゾールの分泌量増加割合減少している。また、インタビューでは、「制御なしは、遠くが見られなく、目が疲れる」との評価結果である。

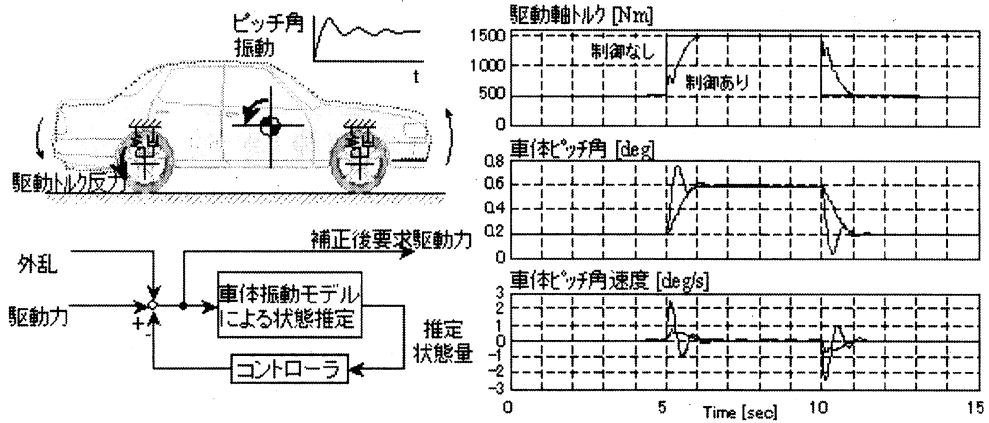


Fig.5 ピッチ角振動抑制制御

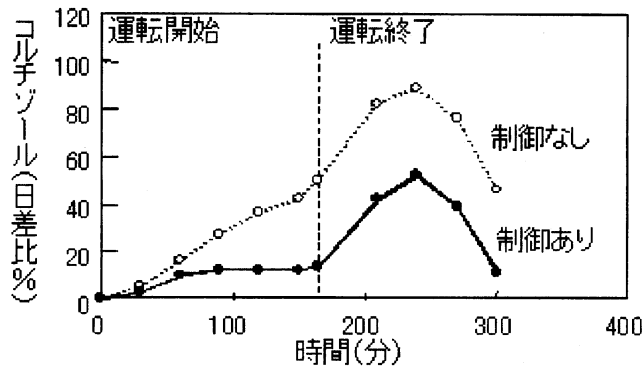


Fig.6 コルチゾールの分泌量

#### 4. 視覚モデルとその検証

オプティカルフローを網膜平面でなく、網膜球面に拡張するのはごく自然である。一般にモノは(Fig.7)のよう網膜に射影される。この網膜上に射影された網膜像で視覚モデルを構築することが、人の感覚にあうモデルを構築できると考えられる。

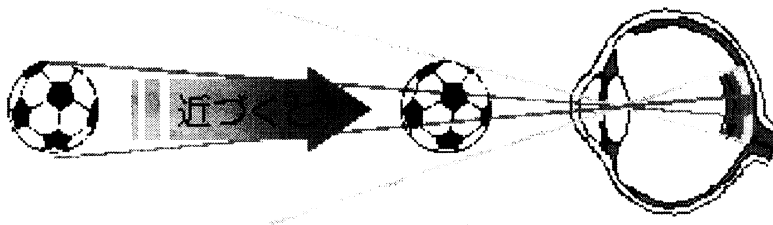


Fig.7 網膜像

#### 4.1. 先行車追従加速走行.

視覚感覚量一定になるように熟練ドライバーが先行車に追従走行した結果を示す (Fig.8). 試験条件は, 前車が約 10 秒間隔で 10km/h 車速を上げ, その速度で一定を保つ時, 自車は視覚感覚 1 秒イメージで追従することである. ここで, 視覚感覚量は, 表現上  $1/\tau$  で, また, 予見の情報(これから起こることを表現)として, 1~5 秒後の  $1/\tau$  もプロットした.

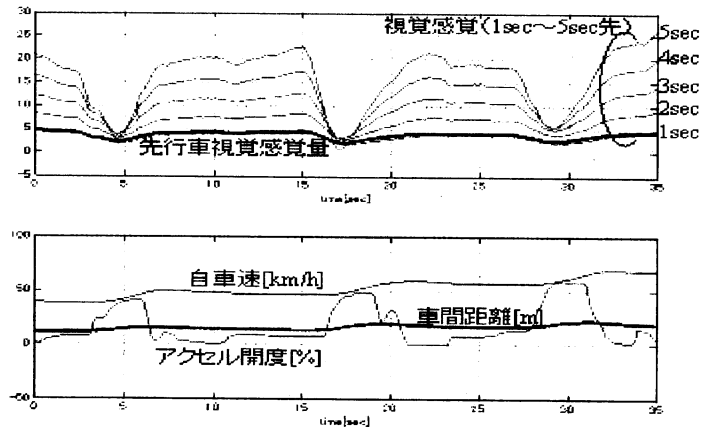


Fig.8 試験結果(視覚感覚一定による先行車追従)

#### 4.2. 先行車追従減速走行.

先行車と一定速度で追従走行している状況で先行車が減速したとき, 視覚感覚量が一定になるように自車の熟練ドライバーが制動操作をしたときの結果を示す (Fig.9).

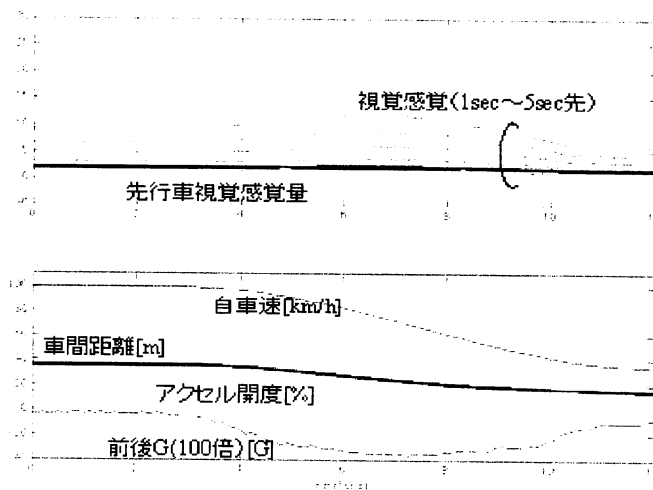


Fig.9 試験結果(視覚感覚一定による減速)

## 5. まとめ

本研究では、自動車運動分野における安全と安心を取上げた。安全は、顕在化している交通災害を如何に抑制するか、また、安心は生態学的アプローチで潜在化している不安全行動を誘発する要因として、視覚へのノイズと疲労度を考察した。

また、先行車の網膜球面上に射影された面積の  $\tau$  を定義して、自動車運動として観測された物理量ではなく、人の高次な知覚システムが作用している例を紹介した。しかし、高次な行動システムのモデリングと知覚システムとの同調は、今後の研究課題である。

## 参考文献

- 1) Lishman, J. R. & Lee, D. N. The autonomy of visual kinaesthesia., Perception, 2, 1973.
- 2) 日経デザイン編, ユニバーサルデザインの教科書, 日経BPセンター, 2002年5月.
- 3) Lee, D. N.. Visio-motor coordination in space-time. In G.E. Stelmach & J. Requin (Eds.), Tutorials in motor behavior, 1980, North-Holland.
- 4) Lee, D. N.. Guiding Movement by Coupling Tau.s Ecological Psychology 1998
- 5) 佐々木正人, アフォーダンスー新しい認知の理論ー, 岩波書店, 1994年.
- 6) 佐々木正人/三嶋博之編訳, アフォーダンスの構想 東京大学出版会, 2001年
- 7) 古崎敬・古崎愛子・辻敬一郎・古瀬旻 (訳), 生態学的視覚論, サイエンス社, 1985.
- 8) 井上威恭監修, ハインリッヒ産業災害防止論, 海文堂出版, 1982.
- 9) ドライバー評価手法の基礎と実践, JSAE SYMPOSIUM, No.06-05, 2005年9月.
- 10) 自動車安全シンポジウム(第2回), 国土交通省自動車交通局, 2001年6月.
- 11) DENSO TECHNICAL REVIEW, Vol.9, No.2, 2004年11月.