

特集 自動車運動分野における安全・安心についての展望*

A Study of Trust on Vehicle Dynamics

沢田 護

Mamoru SAWADA

岡田 稔

Minoru OKADA

Vehicle safety systems are usually categorized into either how to prevent a collision or how to mitigate injury to occupants at the point of collision. The former is known as “active (preventive) safety”, and the latter as “passive safety”. However, so far there is no definition of mutual trust between driver and vehicle, therefore “the unification of rider (driver) and horse (vehicle)” is thought to be an important point.

This paper studies a new hypothesis that a driver and their vehicle can be defined as a non-dividable, perceptive and active system which is capable of perceiving its environment and acting by itself. In order to validate this hypothesis, we defined a high-level vision sensory unit “ τ ” from an ecological viewpoint and conducted some tests where the driver followed a preceding vehicle. The results of the validation show a strong correlation of mutual trust between the driver and vehicle with τ .

Key words: Trust on vehicle dynamics, Vehicle safety systems, High-level vision sense unit “ τ ”

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。

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）。

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

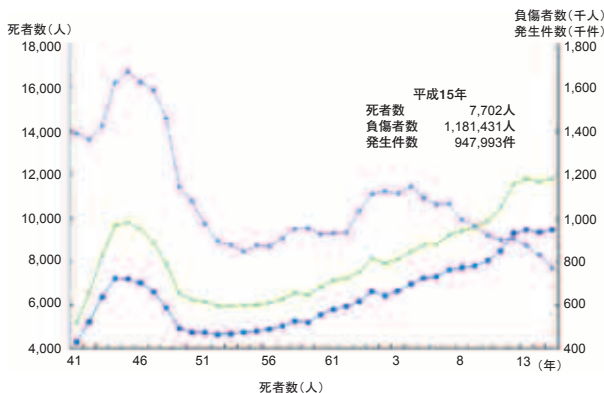


Fig. 1 交通事故統計（出典：国交省）

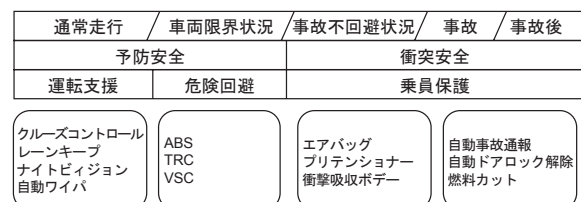


Fig. 2 自動車の安全システム

*（社）情報処理学会の了解を得て、「CVIM研究会（2005.11）」資料より、一部加筆して転載

求する。この非線形行動指令を自動車からドライバに要求しない機能を提供している。つまり、ドライバ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、自動車はドライバに微分操作を要求するため、長時間走行ではドライバ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、自動車はドライバを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

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

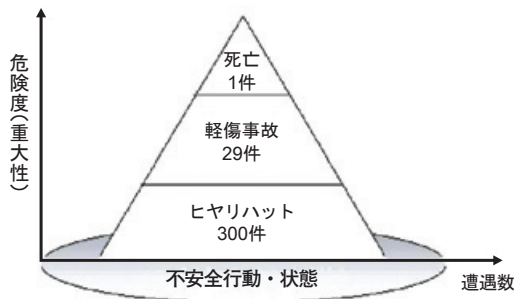


Fig. 3 ハインリッヒの法則

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。

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がタスクを実行することは、人間を中枢とする集中制御を行っていると言える。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為の循環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為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 (τ)

工学的アプローチで人混みを歩くロボットをつくらうとした場合、一般には、画像センサ、測距センサなどを活用し周辺障害物との距離、相対速度などを測定し（認知）、センサから得られた各種情報から状況に応じた行動計画を決め（判断）、アクチュエータを操作し足を動かす（操作）であろう。

生態学の研究においては、このような課題は知覚と行為のカップリングとして扱われる。つまり、人は視覚・聴覚・触覚といった感覚機能から行為と直接的に関係づける高次の知覚量を創り出し、自己組織化し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 τ （Fig. 4-左）で表現した結果である。横軸を物理的接触時間（Fig. 4-右）で表現した場合、落下さ

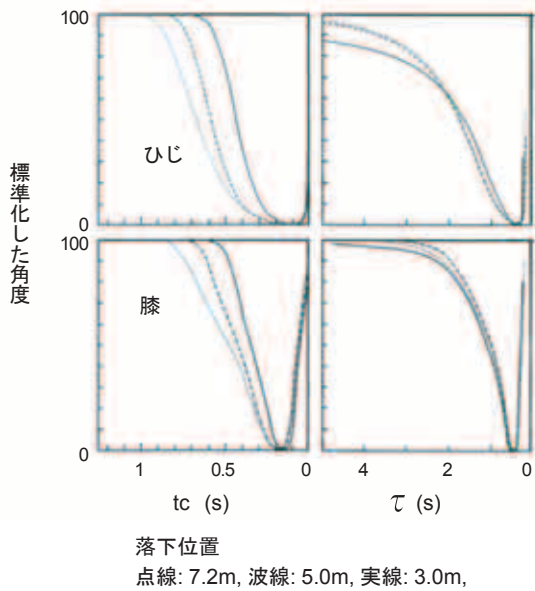


Fig. 4 ボールを打ち返す実験結果

せる高さによりひじ、膝の動きが大きく異なっているのに対し、視覚的余裕時間 (Fig. 4-左) で表現した場合には、ボールへの接触の瞬間付近で落下させる高さに依存することなく、ひじ、膝の動きをさせていることが分かる。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・変化から高次の知覚量 (視覚的余裕時間) を創り出し、直接的に行為と結びつけているとすることができる。

τ 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 τ は数式上、時間という次元をもつ。この τ が示す時間とは、人が学習・経験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為のタイミングを決定していると言われている。

人は知覚と行為の関係を学習・経験を通じて自己組織化し、行為を自分のものにすると、その行為は無意識的に行われる。例えば、熟練ドライバーが高速道路で先行車に追従して運転する場合、常に先行車と衝突しないよう注意を払って運転することはあまりなく、無意識に安全な車間距離を保って運転している。しかし、

仮に運転経験が無いドライバーが同じ状況で運転した場合には、常に注意を払って運転をする。本研究では、この違いを「知覚と行為の関係を自己組織化されているか否かの違いである」と仮説をおいた。この仮説に基づき、自動車学校の意味を考えてみると、自動車学校は、車の運転における基礎的な知覚と行為の自己組織化を形成する場であると考えることができる。

3.3 視知覚モデルとその検証

人の視覚感覚をモデル化するため、平面に射影された像ではなく、網膜球面に射影された像をモデル化し、(3-1)式を適用して視知覚量をモデル化した。本モデルが対象とする視覚情報は、自車より1秒先、2秒先といった先の情報、及び先行車の見えであり、「見え」は静的な大きさとその変化 (オプティカルフロー) で構成される (Fig. 5)。

3.3.1 先行車追従加速走行

熟練ドライバーに直線路で先行車との車間距離を1秒で追従するというタスクを与え実験を行った。なお、先行車は、40km/hから約10秒間隔で車速を10km/hずつ増す操作を行った。

この実験から算出した先行車に対する視知覚量を (Fig. 6) に示す。細線は先行車と数秒先の情報の“見え”を本視知覚モデルで算出した知覚量である。太線



Fig. 5 視知覚モデル

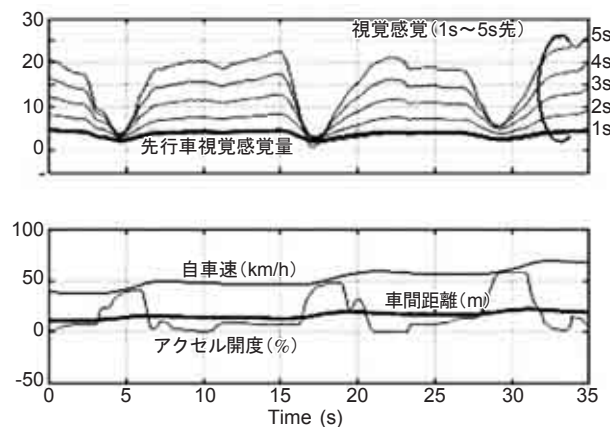


Fig. 6 試験結果 (視覚感覚一定による先行車追従)

は先行車の“見え”を同様に算出した知覚量である。

視覚的な車間時間を一定にした場合、車速により物理的な車間距離は異なるにもかかわらず、先行車に対する視知覚量は一定となっており、被験者に与えたタスクを満足する評価結果を得た。さらに、先行車の加速により一時的に車間距離が開いた場合、先の情報の“見え”に対する先行車の“見え”の割合が小さくなることから先行車に対する知覚量が小さくなることが表現されている。

3.3.2 先行車追従減速走行

熟練ドライバーに視覚的感覚量が一定になる減速を行わせた。本実験では、まず先行車に一定車速から減速をさせ、後続車を運転する被験者には、周辺情報の“見え”の変化を一定に変化するようにブレーキ操作を行い、先行車との車間距離をコントロールさせた。

減速により物理的な車間距離が短くなっているにもかかわらず、モデルで算出した視知覚量もほぼ一定となっており、被験者に与えたタスクと一致する結果が得られた。また、本実験の同乗者のコメントは、「同乗していても安心できる減速である」という評価結果であった (Fig. 7)。

4. 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、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¹⁾。

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為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」²⁾

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。

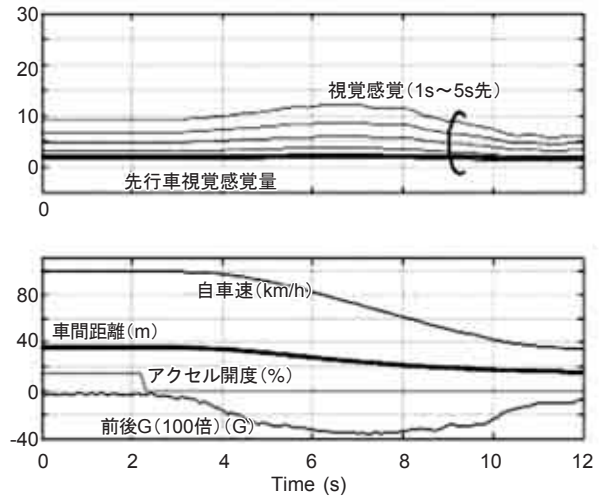


Fig. 7 試験結果（視覚感覚一定による減速）

4.1 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、車体はその反力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、振動ノイズが重畳したオプティカルフローを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. 8)。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ルチゾールを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

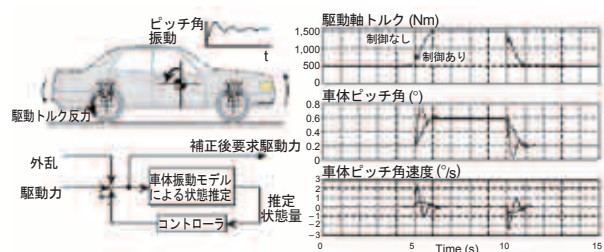


Fig. 8 ピッチ角振動抑制制御

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. 9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」との評価結果が得られた。

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り上げた。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 τ 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、高次な行為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。

6. 今後の展望

人々が日常生活を安心して暮らすためには、買い物に行くことができる、病院に行くことができるなど安全で快適なモビリティが必要不可欠である。日本は急速に少子高齢化社会を迎えており、高齢者も安心して移動できるモビリティ技術にフォーカスをあてなくてはならない。

安全・安心は人間の根源的欲求であるが、マズローの『欲求階層説』によると、人間の内部には生理的欲求、安全欲求、社会的欲求、自尊欲求、自己実現欲求からなる五つの欲求階層が存在する。モビリティに対する安全・安心のより上位欲求とは、

- ・運転しても疲れないモビリティ
- ・運転するのが楽しいと思えるモビリティ
- ・運転すると新しい意欲が湧いてくるモビリティ

などが挙げられる。いずれにしても人間の知覚・行為システムに充分適応したモビリティであれば実現可能であり、高齢化社会を迎えても80才で意気揚々と社会参加できる生活移動空間を提供することができるであろう。

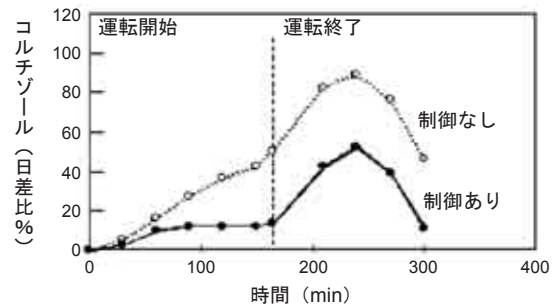


Fig. 9 コルチゾールの分泌量

<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).
- 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).
- 7) 古崎敬・古崎愛子・辻敬一郎・古瀬晃 (訳), 生態学的視覚論, サイエンス社 (1985).
- 8) 井上威恭監修, ハイブリッド産業災害防止論, 海文堂出版 (1982).
- 9) ドライバ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).
- 12) 経済産業省, 五感で納得できる暮らしを目指して (2006年4月).



<著者>



沢田 護
(さわだ まもる)
システム開発部
車両電子制御システム開発に従事



岡田 稔
(おかだ みのる)
システム開発部
車両電子制御システム開発に従事