

運転支援システム構築におけるドライバ状態推定に関する研究

日大生産工(院) ○市川 一成 日大生産工 栗谷川 幸代

1. まえがき

近年、交通事故死者数は減少傾向にあるが、平成24年において未だに年間4000件⁽¹⁾を超える死亡事故が発生しており、社会的問題であると言える。また、近年の交通事故当事者の状態別死者数の推移を見ると、交通弱者と言われていた歩行者事故が最大となっていることが分かる⁽²⁾。特に直進単路の事故が多く、歩行者の交通違反による事故は少ないことが明らかとなっており、事故の多くはドライバが原因であることが分かる。このような事故の大半がドライバの認知・判断・操作におけるヒューマンエラーが要因と考えられる。

田久保⁽³⁾は、エラーを発生させる負荷は、道路状況複雑さと車両操作性に対するドライバの情報処理能力の相対的關係で定まり、負荷が過大であればエラーが発生すると考えられる。

そのため近年では、各自動車メーカーによる交通事故やヒューマンエラーの軽減、ドライバ運転負荷軽減を目的としたドライバ支援システムが開発されているが、開発する上でシステムの煩わしさや過信、違和感等が大きな課題である⁽⁴⁾。その多くが「情報提供」、「注意喚起」、「警報」、「制御」であり、情報提供モダリティの使い方が懸念される。

過去、様々な支援システムに用いられている視聴覚モダリティに関して、物理特性と緊急性・重大性の關係を検討している⁽⁵⁾。その結果、言語的メッセージよりもその周辺の輝度や頻度を変化させることで重大性や緊急性をドライバへ与えることができた。そこで我々は、自動車運転中の周辺状況やドライバの状態に応じた支援提供の方策を考案することで、煩わしさを与えず的確な支援が可能であると考えた。

そこで本研究では、交通事故が多いシーンにおいて、歩行者飛び出しに対するドライバ支援システムを構築し、ドライバの煩わしさやありがたさをドライバの精神的状態や運転行動から定量的に評価することを目的とする。また、煩わしさを評価する上で、前方への危険予期の大小関係と警報の煩わしさの關係を検討すべく、脇見の有無で再現し、脇見ありが前方への予期が小という仮説を立て、本実験を行った。

2. 実験概要

2.1. ドライビングシミュレータ

実験参加者間・内の条件を統制するために、本実験ではドライビングシミュレータ(以下、DS)を用いた。本DSは室内環境を忠実に模擬しており、ムービングベースや操舵反力装置は設置していない。そのため本実験では、直線路のみを対象とする実験条件の設定を行った。

2.2. 想定する交通シーン

本検討では、事故死者数が最も多い歩行者事故⁽²⁾を想定した交通シーンをDS上に再現した。

本検討で実施したシナリオは、直線単路で片側一車線の道路であり、対向車線は渋滞を模擬した。このような状況で、前方への危険予期として次の仮説を立てた。脇見を付加することにより、前方を見ている(以下、脇見なし)状態の方が前方に注意が向けられていると考えられ、危険予期しやすい状態と考える。例えば交差点を考慮すると、前方視認時よりも交差点侵入時の方が信号や右折車両等が存在するため、前方に注意が向けられていると考えられる。しかし本検討では、交通事故の発生場所として多いとされている直線道路を対象とした脇見有無(危険予期の大小)と警報の煩わしさの検討を行う。

具体的なシナリオは、対向車線に渋滞している車両の隙間から歩行者が飛び出すという状況を再現した。渋滞車両群を直線区間で複数個設置し、ドライバに気付かれないよう歩行者飛び出しの位置を変更した。

ここで、脇見の定義として、脇見対象を視認するまでに要する時間とドライバが前方に対して不安を感じ、視線を前方に戻す時間を総合して脇見とした。この時間は、個人毎に変化する時間であり、事前にストップウォッチにて計測を行い、実験条件とした。また、警報音とは異なる短音(音圧: 84dB)を用い、脇見開始の合図(以下、脇見フラッグ)とした。

2.3. 使用する警報システム

上記の交通シーンにおける注意喚起の仕様として、聴覚モダリティを警報として用いた。以下に、本実験で用いたモダリティ仕様を示す。

音の種類 : 音声による「歩行者あり」
音圧 : 86[dB]

2.4. 条件

環境情報や前方への危険予期の大小関係と警報タイミングの関係に伴う警報システムの煩わしさについて評価を行う。警報のタイミングは、ドライバから歩行者が「完全に見えている」「次の瞬間には見えている」「全く見えていない」を事前に検討し、設定した。警報タイミングを衝突余裕時間(以下、TTC : Time To Collision)で変化させた。なお、本検討で用いるTTCは、自車前端から歩行者横断位置の相対距離に車速を除いたものとした。実験条件統制のために、車速を約40km/h一定で制御した。

TTC : 2.4, 3.4, 4.4[sec]

歩行者の横断速度は、過去ドライブレコーダの解析により⁶⁾、車両と歩行者のニアミス状況の特徴から約4km/hから9km/hの範囲での事故が多いことが明らかとなっている。そこで本研究では、車道横断を考えると小走りになる可能性があることから5km/hとした。

なお、実験条件の順序は実験参加者間でカウンタバランスを考慮した。

2.5. 計測項目

運転中の注意喚起の警報に対するドライバの状態を多面的に捉えるために、運転行動、生体反応、またそれぞれの状態に対するドライバの主観評価を計測した。また、ドライバの行動を観察するために実験風景を映像で記録した。

2.5.1 主観評価

警報に対する煩わしさを捉えるために、以下の項目に関する主観評価を収集した。また、実験参加者の基本属性を分類するために、実験前に人間生活工学研究センター提唱の運転スタイルチェックシート(以下、DSQ)と運転負荷チェックシート(以下、WSQ)⁷⁾を計測した。

- (1) 警報に関して：タイミング、驚き、事象との関係、警報内容の把握・理解
- (2) 運転に関して：回避行動、前方への注意
- (3) 総合評価：システム作動による安全の確保

また、実験後に警報システム等についてインタビューを行った。

2.5.2 運転行動

ドライバの警報に対するリアクションを車両状態や運転行動から検討するために、DSから出力されるアクセル・ブレーキ開度、操舵角、車速、走行位置等をサンプリングレート約60Hzにて計測した。

2.5.3 生理指標

警報に対するドライバの驚愕や危険対象物に対する予期緊張を捉えるために、TEAC社製のPolymateを用いて、胸部誘導による心電図、呼吸ピックアップ(ミユキ技研 AP-C021)によ

る呼吸曲線を増幅し計測した。同様にPolymateのAPU-030mにより増幅した皮膚コンダクタンスを同時計測した。また、視線行動や眼球運動を捉えるために、Smart Eye Pro System(Smart Eye社製)より非接触にて約60Hzで計測をした。

2.6. 実験参加者

文書によるインフォームドコンセントを得たDS運転に習熟した(実験前に十分に練習)20代の普通自動車運転免許を保有している男子大学生2名である。運転歴は様々である。

3. 解析手法

3.1. 主観評価

ドライバの直感的な評価を得るためにVisual Analog Scale(以下、VAS)を用いて計測した。なお、VASはそれぞれの項目で「とても思う」を「+100」, 「全くそう思わない」を「-100」として評価値を算出する。

3.2. 運転行動指標

警報に対する反応や警報後の危険事象や周辺環境変化に対する運転行動を捉えるために、以下の手法にてドライバの状態を推定する。

警報に対する反応に対して、アクセルペダルから足が離れた瞬間からブレーキペダルに踏み替えた時間間隔(以下、ペダル踏み替え時間)を算出し、煩わしいほど警報に対する対処行動に戸惑いがあり、この時間間隔が長くなると仮説を立てた。また、警報後の制動操作に対して、ブレーキ踏み量・時間や車両の最大減速度を算出することで、安全な運転行動により、危険事象の回避が行えているかを検討する。

3.3. 生理指標

ドライバの警報や危険事象に対する予期緊張や瞬発的な緊張を捉えるために、栗谷川ら⁸⁾により提唱された評価指標を用いる。始めに、計測された心電図から高周波ノイズおよび基線変動の除去を行う。次にR波検出を行い、検出したR波より一拍毎の心拍を求め、その心拍のスプライン補間を行うことで、等時間間隔の心拍を求める。心拍はローパスフィルタ(遮断周波数：0.08Hz)をかけて呼吸性・MayerWave性心拍変動成分を除去する。走行状況の変化に伴うドライバの心拍変化の検出判定は、検出閾値THとTHを越えている時間tdを設定し、検出閾値THは各時点直前の一定区間の平均心拍と標準偏差を用いて、下式により求められる。

$$TH = MEAN + (c \times SD)$$

TH : 検出閾値, MEAN : 基準区間平均

c : 検出頻度調整係数, SD : 基準区間標準偏差

4. 実験結果

4.1. 主観評価

図1に警報タイミングについて、「もっと早く」を100、「もっと遅く」を-100とし、換算した結果を示す。ここで、実験参加者A、Bともに脇見なしにおいてはTTCが2.4、3.4秒と増加することにより、警報タイミングが良いと回答する傾向が見られる。実験参加者Aでは、4.4秒、実験参加者Bでは3.4秒が適切な警報タイミングと言える。一方で、脇見ありでは、2名の実験参加者の主観評価には共通の傾向が見られなかったが、実験参加者Aは、脇見なしと同様の結果が、実験参加者Bは、2.4秒で適切な警報タイミングという結果が得られた。

また図2に、警報のおかげ安全運転が出来たかという質問項目に対する主観評価の結果を示す。この図から警報タイミングが良いと感じたTTC条件において両者共に良い評価傾向になっていることが分かる。

4.2. 運転行動指標

図3に警報後のペダル踏み換え時間の算出結果を、表1には警報後のブレーキ踏み込み量とブレーキを踏み車両が停止するまでの時間(以下、ブレーキ踏み込み時間)の算出結果を示す。実験参加者A、B共にTTCの増加に伴い、ブレーキ踏み込み量が減少し、ブレーキ踏み込み時間が増加し、ペダル踏み換え時間は4.4秒で視線移動による反応遅れと考えられる行動が確認された。

脇見なしの実験参加者Aの場合、TTCの増加に伴いペダル踏み換え時間が短くなる一方で、脇見が付加されたことにより、TTCが短い条件では脇見なしよりもペダル踏み換え時間が短くなることが視察された。実験参加者Bでは、脇見なし条件においてペダル踏み換え時間の傾向はなく、脇見が付加されるとTTC=3.4[sec]以外で脇見なしより増加することが分かった。

4.3. 生理指標

本検討で着目する心拍変化の傾向は、警報に対する驚愕(Sharp & Abrupt: 以下, SA)や警報前に発生する危険事象に対する予期緊張、渋滞に対する緊張状態(Gentle & Lasting: 以下, GL)である。

そこで、図4は、主観評価で最も警報タイミングが適切との回答があったTTC=4.4[sec]と最も不適切であったTTC=2.4[sec]のにおいて算出した脇見の有無に対するTHを示す。図に示すTH算出パラメータは、警報システムに対するドライバの反射的な反応を捉えるため、SAは基準区間10[sec], $c=0.0$, $td=1.0$ [sec], GLは基準区間10[sec], $c=1.0$, $td=5.0$ [sec]とした。この基準区間は、渋滞中のドライバ状態から

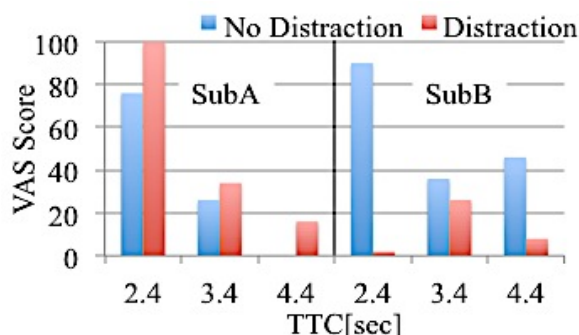


Fig.1 Timing of warning system

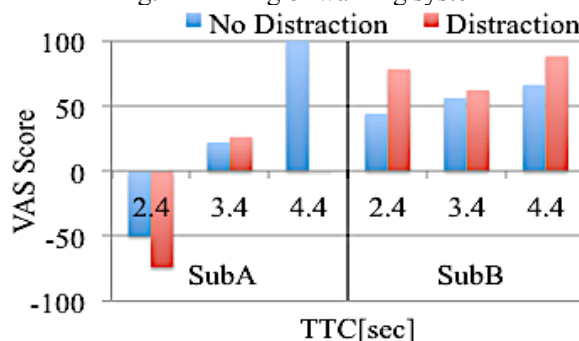


Fig.2 Safe driving by warning system

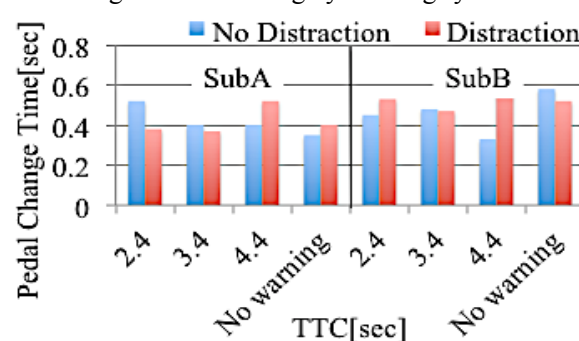


Fig.3 Pedal change time

Table.1 Peak Braking Value[%]& Braking Time[sec]

Item		Condition	Warning Condition			
			2.4	3.4	4.4	No warning
Peak Braking Value[%]	SubA	No Distraction	85.1	76.5	74.9	67.1
		Distraction	74.1	70.2	55.3	69.4
	SubB	No Distraction	99.2	78.0	93.7	74.9
		Distraction	100	97.6	93.7	92.2
Braking Time[sec]	SubA	No Distraction	1.92	2.17	2.32	2.33
		Distraction	2.03	2.47	3.2	2.05
	SubB	No Distraction	1.67	2.25	1.8	2.57
		Distraction	1.83	1.95	1.9	2.05

警報や危険事象へ変化したときの状態を捉えるために設定した値である。なお、図中の0[sec]の地点で歩行者が横断最中であり、歩行者横断から前後5秒間の検出閾値を示す。また、紙面上の制約のため、実験参加者Aの結果を示す。

ここで、脇見なしではTHが増加することに伴い、歩行者横断中に一過性および持続性の緊張状態が検出された。一方で、脇見が付加されることにより、脇見なしのような状態検出はなかった。しかし、図よりTTCが増大に伴い、心拍数の低下が視察できる。

5. 考察

主観評価より、実験参加者A、B共にTTCが大きい値で適切な警報タイミングと回答があり、一方で警報タイミングが適切でない条件(煩わしさを感じた)はTTC=2.4[sec]であった。

実験参加者Aは、脇見の有無に関わらずTTC=4.4[sec]で主観評価において最適解が得られたと考えられる。このとき、ペダル踏み換え時間は他と比較して素早いペダル操作ができ、また、ペダル踏み替え時間が素早く、ブレーキ踏み込み時間を長くとり、ブレーキ量も抑えられ、急ブレーキなしで安全に危険回避ができたと思定される。また、心拍変化には大きな変化は見られず、適切な警報タイミングで注意喚起を行うことにより、驚愕や緊張を抑えることが出来ると考える。一方で、TTC=2.4[sec]は、ペダル踏み換え時間が遅く、ブレーキ量やブレーキ踏み込み時間より急ブレーキの傾向が見られ、その結果衝突寸前の停止が主観評価に影響したと考えられる。また、衝突2.4秒前の警報のため、心拍数変化が見られたと示唆される(図4)。

実験参加者Bは、主観評価結果より脇見なし、TTC=2.4[sec]のとき煩わしさを感じていると考えられる。これは、評価が良かった3.4秒と比較してブレーキ踏み込み時間が短いことが分かる。また、ブレーキ量も脇見ありを除いて最大であり、急ブレーキでの危険回避になり、安全運転確保が出来なかったことが影響していると示唆される。脇見なしTTC=3.4[sec]では、他と比較してブレーキ踏み込み時間は長い、ペダル踏み換え時間は遅くなった。これは、主観評価で警報タイミングを早くとの回答があり、多少早くすることで実験参加者Aと同様の結果が得られると示唆される。しかし、生理指標において紙面上の制約で記載していないが、実験参加者Aと類似した結果は得られなかった。

6. おわりに

本検討では、ドライバ支援を目的とした歩行者注意喚起システムの構築を行い、システムがドライバにとって煩わしいものであるかどうかを複数の指標を用いた定量的評価を行った。そこで、以下の結果が得られた。

- (1) 主観評価では、実験参加者2名であるが、危険事象の視認範囲での警報が煩わしさに繋がる可能性があると思唆された。
- (2) ペダル踏み換え時間、ブレーキ踏み込み時間の関係性を視察することで、ドライバの前方に対する余裕度合いや危険予期の大小関係が把握でき、詳細解析を行うことで、煩わしさの定量評価が可能と思唆される。

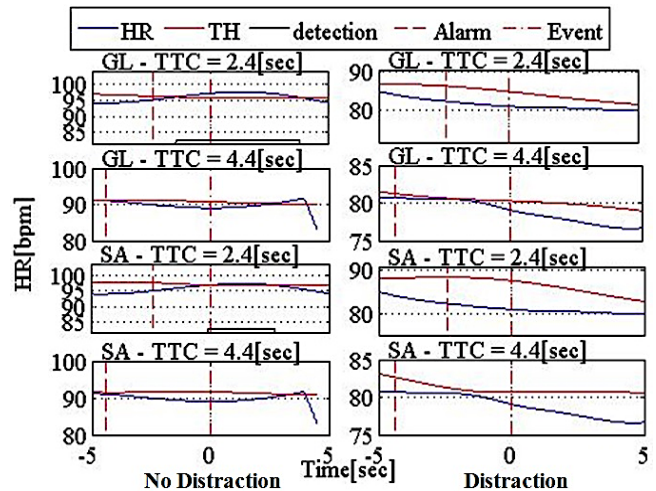


Fig.4 An example of detection results(SubA)

- (3) 個人差はあるが、警報タイミングに対するドライバの心拍数の変化は捉えられるが、煩わしさの評価するためには、更なる詳細解析や他の生理指標を用いた評価が必要になると考える。

今後の検討として、交差点におけるドライバ注意喚起システムの構築および評価やモダリティそのものを変化させた時の煩わしさの度合いの定量的評価を行う予定である。

「参考文献」

- 1)警察庁：平成 24 年中の交通死亡事故の特徴及び道路交通法違反取締状況について、
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001106841>
- 2)財団法人交通事故総合分析センター、イタルダ・インフォメーション、2010, May
- 3)田久保宣晃：交通事故データによる運転者のヒューマンエラーと心的負荷の一考察, IATSS Review, Vol.30, No.3, pp.23-32
- 4)石橋：運転支援のヒューマンファクタ研究におけるドライバー特性の活用, IATSS, Vol.36, No.1
- 5)宇野：視聴覚表示の物理特性を利用した主観的印象の伝達に関する研究, 自動車技術会論文集, Vol.31, No.4, October, 2000
- 6)松井：ドライブレコーダの記録から見た歩行者行動の定量分析-効果的な事故回避システムに求められる条件について-, 独立行政法人交通安全環境研究所フォーラム資料2012, 20
- 7)一般社団法人 人間生活工学研究センター (HQL)公式ホームページ：<http://www.hql.jp/>
- 8)栗谷川ほか：心拍変化を用いた高齢ドライバの苦手・危険場面検出をめざして, ヒューマンインターフェース学会論文集, Vol.9, No.2, pp.117-124, 2007