夜間時視覚支援システムに対するリスク補償行動の分析

平岡 敏洋*・増井 惇也*・西川 聖明*

Analysis of Risk Compensation Behavior on Night Vision Enhancement System

Toshihiro HIRAOKA*, Junya MASUI* and Seimei NISHIKAWA*

Advanced driver assistance systems (ADAS) such as a forward obstacle collision warning system (FOCWS) and a night vision enhancement system (NVES) aim to decrease driver's mental workload and enhance vehicle safety by provision of useful information to support driver's perception process and judgment process. On the other hand, the risk homeostasis theory (RHT) cautions that an enhanced safety and a reduced risk would cause a risk compensation behavior such as increasing the vehicle velocity. Therefore, the present paper performed the driving simulator experiments to discuss dependence on the NVES and emergence of the risk compensation behavior. Moreover, we verified the side-effects of spontaneous behavioral adaptation derived from the presentation of the fuel-consumption meter on the risk compensation behavior.

Key Words: risk compensation behavior, night vision enhancement system, safety, driving simulator, intrinsic motivation

1. 緒言

平成 20 年度の交通事故発生件数は 76 万 6147 件であり、交通事故による死者数は 5155 人、負傷者数は 94 万 5504 人であった¹⁾。交通事故死者数は 8 年連続で減少し、発生件数および負傷者数は過去最悪を記録した平成 16 年から 4 年連続で減少しているが、依然として憂慮すべき交通情勢にあるといえよう。このような現状に対して、国土交通省や各メーカー、大学などは先進安全自動車 (ASV) の研究開発や、各種運転支援システムの効果評価などを盛んに行なっている。

さまざまな研究において、限定的な実験環境下における運転支援システムの有用性が示される一方で、長期的には運転者のリスク補償行動によって運転支援システムの効果が十分に得られないという指摘がある²⁾。たとえば、運転支援システムによって安全になったと感じた場合に、速度を増加させたり車間距離を詰めるといったように、運転支援システムの導入によって生じた運転者の運転技能的な余裕を、運転パフォーマンスの向上に転用するというものである。これらの指摘に対する検証は今後の運転支援システムのあり方を検討する上で重要であり、上記のような議論はさらに活発に行なわれていくと思われる。

先行研究³⁾では、ドライビングシミュレータ (以下、DS) 上に赤外線模擬映像や警報を提示する夜間時視覚支援システ

ム (NVES: Night Vision Enhancement System) を再現し、夜間走行時の歩行者回避に対して効果があることを確認しているが、その一方で警報に対する依存が生じる可能性も示唆している。そこで本研究では、DS を用いて NVES の有無による運転行動の変化を比較することにより、NVES に対するリスク補償行動の分析を行なう。

また、エコドライブに関する研究において、燃料消費量計 (以下、燃費計) を提示することで燃費向上に対する運転者への内発的動機付けが生じ、その副次的な結果として安全性が向上するという報告⁴⁾がある。そこで、本稿において、燃費計の提示が NVES に対するリスク補償行動を抑制できる可能性についてもあわせて検討する。

2. リスク補償行動

2.1 リスク補償行動とリスクホメオスタシス理論

運転支援システムの一つに横滑り防止装置 (ESC: Electronic Stability Control) があり、30%程度の交通事故を低減できるとする報告もある⁵⁾。しかし、この値は上記システム搭載車両を運転する運転者の行動が変化しないという前提に基づくものである。Wilde²⁾は、運転支援システムの導入などによって安全性が向上し、運転者が知覚するリスク量 (知覚リスク量: R_p) が低下すると、走行時の車速を上げたり、走行距離を増加させるなどのリスク補償行動が発現し、結果として期待していたほどの効果が得られないというリスクホメオスタシス理論 (RHT: Risk Homeostasis Theory) を提唱しており、**Fig. 1** を用いてリスク補償行動が発現するメカニズムを説明している。

RHT によれば、運転者の内部にある受容可能なリスク量

* 京都大学大学院情報学研究科 京都市左京区吉田本町

* Graduate School of Informatics, Kyoto University, Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto

(Received January 27, 2010)

(Revised May 10, 2010)

Fig. 1 Risk homeostasis theory ²⁾

(目標リスク水準: R_t) と知覚リスク量 R_p を比較し, $R_p > R_t$ ならば安全と感じるまで慎重な行動を行ない, $R_p < R_t$ ならば目標リスク水準までリスクを許容して危険と感じるような大胆な行動を行なうと考えられている。すなわち, リスク補償行動とは, リスクを最小化するのではなく, 目標リスク水準と一致するように知覚リスクを最適化することを表す。

2.2 リスク補償行動を抑制する対策

RHT によればリスク補償行動を抑制するためには目標リスク水準を下げる対策が必要であり, 下記に示す四種類の戦術が考えられる ²⁾。

- 戦術 A: 安全な行動によって感じられる利益を増やす
- 戦術 B: 安全な行動によって感じられる損失を減らす
- 戦術 C: 危険な行動によって感じられる損失を増やす
- 戦術 D: 危険な行動によって感じられる利益を減らす

戦術 A の代表的な方策に, 一定期間内に無事故であった場合に報酬を与えるインセンティブプログラムなどがある。戦術 B としては, 公共交通利用時に助成金を出す, フレックスタイム制の導入により始業時間に遅刻しないように急ぐ必要性を減らす方法などがある。戦術 C の代表的な方策には, 飲酒運転に対する罰則強化がある。戦術 D としては, タクシー料金を距離制ではなく時間制にするなどが挙げられている。

これらは報酬や罰則などの外的要因による外発的動機付けであり, 行動を持続させるためにより大きな報酬が必要となり, 一般的には欲求不満や挫折を引き起こす確率が高いといわれている ⁶⁾。しかし, 課題の価値を自己の価値観に内在化させることによって, 外発的動機付けも持続性の高い, 自律的な動機付けになっていくことができる。

これに対峙する概念として内発的動機付けがある。内発的動機付けとは行動すること自体が目的で, それ以外に報酬を必要としないような状態をさす ⁶⁾。内発的動機付けによる行動を通して有能感と自己決定感を感じている人は, さらなる有能感と自己決定感を求め, 意欲を燃やし努力する。したがって, 内発的動機付けにより行動が発生し, 有能感と自己決定感を得ることができる状況では, 行動の持続性は高くなるといえる。

以上より, リスク補償行動を抑制する対策としては, 内発的動機付けによる行動や, 外発的動機付けの内在化により, 自ら「やりたくて」行動する状態にする方策が望ましいと考

えられる ⁴⁾。

2.3 エコドライブによるリスク補償行動の副次的な抑制

日本で普及しているエコドライブ運転法 ⁷⁾ では, 1) ふんわりアクセルを踏む, 2) 加減速の少ない運転, 3) 早めのアクセルオフ, 4) エアコンの使用を控える, 5) アイドリングストップ, 6) 適切な暖機運転, 7) 道路交通情報の適用, 8) タイヤの空気圧をこまめにチェックする, 9) 不要な荷物を積まない, 10) 駐車場所に注意する, の 10 項目が推奨されている。

先行研究 ⁸⁾ では, 燃料消費量を改善する旨の指示など是一切行っていないにもかかわらず, 燃費計を提示するだけで約 1 割の燃費改善効果が得られた。これは燃費計の数値を上げて有能感を得ようとする内発的動機付けが生じていた可能性を示唆するものである。さらに, 燃費計の提示によって省燃費運転が継続して行なわれるという結果 ⁹⁾ も得られている。

上記 10 項目のうち 1), 2), 3) は先行車への追従走行に強く影響を与えるものであり, エコドライブ運転が行なわれることによって副次的に運転行動が安全側に推移する可能性がある。筆者らの先行研究 ⁴⁾ では, DS 実験において実際に安全性が向上したという結果が得られた。

以上より, 燃費計を提示することによって内発的動機付けに基づく省燃費運転が行なわれて, さらに副次的に安全性が向上する可能性が示唆される。内発的動機付けによる行動は持続性が高いため, 省燃費運転や安全運転に対して大変有効である。そこで, 本研究では, NVES において生じるリスク補償行動を抑制するための一方策として, 燃費計を提示するという方法について検討を行なう。

3. 夜間時視覚支援システム

本研究では, 既報 ³⁾ で DS 上に構築した NVES を改良して実験を行なった。

3.1 夜間時視覚支援システムの概要

本研究で用いる赤外線模擬映像は, 前方映像に対して 4 倍の望遠映像となっており, 遠赤外線映像を模擬したものとなっている (Fig. 2)。既報 ³⁾ では警報提示指標として衝突余裕時間 (TTC: Time-To-Collision) を用いて, TTC が 5.0s 以下のときに警報と強調表示を提示した。TTC は対象物との相対距離を相対速度で割った指標であり, 相対速度が零の場合に評価できない。筆者ら ¹⁰⁾ は, この問題を解決する一手法として, 相対速度が零である場合においても評価可能な衝突回避減速度 (DCA: Deceleration for Collision Avoidance) という指標を提案した。DCA は前方障害物との衝突を回避するために必要な減速度を示しており, ブレーキの踏み込み量と指標の値がほぼ線形な対応関係にあるため, 指標の値によって運転者が取るべき行動が理解できるという利点もある。

以上の点をふまえて, 本実験では警報提示指標として DCA を取り入れた。なお, DCA には対象物が現在の減速度を維持した場合の顕在的衝突回避減速度 (ODCA: Overt DCA) と急減速した場合の潜在的衝突回避減速度 (PDCA: Potential DCA) の 2 種類がある ¹⁰⁾ が, 本研究では ODCA を警報提示

Fig. 2 Pseudo Far-infrared image

指標として用い、その値を記号 α_o で表わす。本実験では α_o の値が 4.0 m/s^2 以上となるとときに警報は鳴り続ける。

さらに本実験では、DCA の利点を活かすために、 α_o の値と連動して Fig. 2 に示す歩行者の強調表示枠の色が変化するように設定した。枠の RGB 成分を (1) 式のように定義して、(2) 式に基づいて枠の色が連続的に変化する。

$$RGB = \begin{bmatrix} R & G & B \end{bmatrix} \quad (0.0 < R, G, B < 1.0) \quad (1)$$

$$RGB = \begin{cases} \begin{bmatrix} 0.0 & 1.0 & 0.0 \end{bmatrix} & (\alpha_o \leq 1.0) \\ \begin{bmatrix} \frac{\alpha_o - 1}{3} & 1.0 & 0.0 \end{bmatrix} & (1.0 < \alpha_o \leq 4.0) \\ \begin{bmatrix} 1.0 & \frac{10 - \alpha_o}{6} & 0.0 \end{bmatrix} & (4.0 < \alpha_o \leq 10.0) \\ \begin{bmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix} & (10.0 < \alpha_o) \end{cases} \quad (2)$$

ODCA の値 α_o が 1.0 m/s^2 となったときに、対象物に緑色の枠が表示される。 α_o の値が増加して 4.0 m/s^2 になると枠の色が黄色になり、同時に警報が鳴る。その後 α_o が増加すると赤色に変化する。

3.2 エコドライブ支援装置の概要

本研究で使用する DS は、エコドライブ支援装置として瞬間燃料消費率と平均燃料消費率を数値で提示する燃費計 (Fig. 3) を表示できる。ただし、表示のオンオフの切替えは実験者の操作によってのみ可能である。本実験では Fig. 4 に示すように、赤外線模擬映像を実験参加者前方左側に配した液晶ディスプレイに表示し、右側の液晶ディスプレイに速度計、回転速度計、燃費計を表示する。

4. ドライビングシミュレータ実験

本章ではドライビングシミュレータ実験を行ない、先行研究³⁾において検証した夜間時視覚支援システムの有効性を再確認するとともに、夜間時視覚支援システムに対するリスク補償行動の発現について検証する。さらに、2.3 節で述べたように、燃費計を提示することで副次的にリスク補償行動を抑制しうる可能性について考察する。

4.1 実験概要

実験参加者は Table 1 に示す 20 代の男女 10 名 (平均年

Fig. 3 Fuel consumption meter

Fig. 4 Front view of simulator

Table 1 Subjects' attribution

Sub.	Age	Sex*	Driving experience	Driving frequency
#1	21	M	less than 1 year	a few times per year
#2	24	M	4 years	a few times per year
#3	23	M	5 years	a few times per year
#4	21	M	3 years	a few times per year
#5	23	M	5 years	a few times per year
#6	24	M	4 years	a few times per year
#7	23	M	1 year	a few times per year
#8	24	M	4 years	a few times per year
#9	23	F	5 years	a few times per year
#10	21	M	3 years	a few times per month

* M: male, F: female

齢 22.7 歳) である。本実験において、実験参加者は全長約 12.2 km、幅 7 m の片側一車線の市街路を模擬した夜間のコースを走行する。走行コースは直線と曲線部分から構成されており、歩道上には歩行者が点在する。そのうちの何人かが自車両との TTC が 5 s となった時点で、自転車側の歩道から飛び出すという危険事象が各条件で 15 回ずつ起こる。

実験条件は下記の 3 条件を用意し、各条件とも 2 回ずつ合計 6 回の走行を行なった。

条件 1: 通常走行 (NVES, 燃費計ともになし)

条件 2: NVES 提示走行 (NVES のみ提示する)

条件 3: NVES + 燃費計提示走行 (NVES, 燃費計ともに提示する)

4.2 実験手順

実験開始前に実験参加者に対してインフォームドコンセントを行なった後、DS に対する慣熟走行として練習走行を行なった。練習走行を行なうコースは、本番で走行するコースとは異なるコースを用意し、昼間の市街路を再現した環境にて行なった。練習走行後、4.3 節に述べる教示を行ない、上述の 3 条件について実験を開始した。また、順序効果を抑制

するために、実験参加者を走行条件別に「条件 1 → 条件 2 → 条件 3」、「条件 2 → 条件 3 → 条件 1」、「条件 3 → 条件 1 → 条件 2」の 3 群に分けた。なお、各走行ごとに歩行者の飛出し位置を変更し、飛出しに対する予測的な反応を抑制した。

4.2.1 日本語版 NASA-TLX

本実験では各条件終了ごとに日本語版 NASA-TLX (NASA Task Load Index)¹¹⁾の質問を行なった。NASA-TLX は、精神的負担を下記六つの尺度に分けて評価する。本研究では、評価得点順に六つの尺度に 6, 5, 4, 3, 2, 1 の重みを与えて平均する AWWL (Adaptive Weighted WorkLoad) 得点¹²⁾を算出して評価を行なう。

- (1) 知的・知覚的要求 → どの程度の知的・知覚的活動(考える・決める・計算する・記憶する・見るなど)を必要としたか。
- (2) 身体的要求 → どの程度の身体的活動(押す・引く・回すなど)を必要としたか。
- (3) タイムプレッシャー → 仕事のペースや課題が発生する頻度のために感じる時間的切迫感ほどの程度か。
- (4) 作業成績 → 課題の目標をどの程度達成できたか。
- (5) フラストレーション → 作業中に不安感・落胆・いらいら・ストレス・悩みをどの程度感じたか。
- (6) 努力 → 作業成績のレベルの達成・維持をするために、精神的・身体的にどの程度一生懸命に作業しなければならなかったか。

4.2.2 主観評価アンケート

さらに、すべての条件について走行した後に、下記に示すアンケートを実施した。

質問 A: 走行中の心境 → 「運転中の心境に一番近いものは？」⇒「速く走行する (R)」「安全に走行する (S)」「燃費よく走行する (F)」「その他 (O)」から選択する。

質問 B: 走行しやすさ → 「走行しやすかった順に各条件を並べてください。」

質問 C: エコドライブに関する事前知識 → 「エコドライブの知識について最も当てはまるものはどれですか？」⇒「知らない」「概要ぐらいを知っている」「方法など詳細を知っている」から選択する。

質問 D: 交通事故歴 → 「過去に事故に遭遇したことはありましたか？」⇒「ある」「ない」から選択する。

質問 E: 交通違反歴 → 「過去に交通違反をしたことがありますか？」⇒ 回数で回答する。

4.3 教示

4.3.1 教示内容

実験参加者に対して、以下に示す教示を行なった。

- 1) 3 種類の条件について走行する
- 2) 普段どおりに運転し、危険事象は必ず回避する
- 3) 制限速度は設定しないため、安全だと思う速度で走行して構わない

4) 規定のコースを速く走行した場合には実験が早く終了し、その場合においても規定の謝礼が支払われる

5) 危険事象を回避し損ねたらその回数分のペナルティ走行を実験終了後に実施する

上記教示後に NVES と燃費計の概要を説明した。NVES の概要として、検知範囲や強調表示の変化についてのみ図を用いて説明したが、走行中に NVES を使用するか否かについて教示していない。燃費計については、計器の表示位置と燃料消費率の種類のみ説明を行ない、燃費計の数値を上げるべきか否かについて教示していない。また、本研究ではエコドライブ運転法に関する説明および教示は一切行っていない。

4.3.2 教示内容の狙い

3 章で述べたように、リスク補償行動とは目標リスク水準と一致するように知覚リスクを最適化することであり、自身の行動によって得られる期待純益を最大化するために適度に危険な行動を選択することを表わす。普段の夜間時に運転する状況下では、たとえば「早く目的地に到着する」「事故を起こさない」といった利益と損失に相当するものが運転者の運転に影響を与えると考えられる。本実験においても、このリスクを冒すことによる利益と損失という状況を再現するために、教示内容 4) と 5) を設定することとした。ただし、教示内容 5) について、実際にはペナルティ走行は課さない。

5. 実験結果と考察

5.1 実験結果の評価視点

自動車運転環境に対する RHT において、一定に保たれるとされる“リスク”とは、時間的事故率とよばれる一定人口あたりの年間交通事故死者数である²⁾。この数値またはこれに類する数値は多数の運転者行動の長期的な蓄積として得られる数値であり、本研究のように短期間の実験では評価できない。また、本実験で発生する危険事象は歩行者の飛出しであり、歩行者との衝突回数が一つの評価視点として考えられるが、実験時間を鑑みると衝突回数のような顕在的なリスク評価指標だけではなく、衝突危険性を示す潜在的なリスク評価指標を算出し、比較検討することが望ましいと考えられる。

そこで、1) 飛出し歩行者との衝突回数、2) 飛出し歩行者に対する回避行動タイミング、3) 平均速度、4) 主観評価、という視点より各運転行動のリスクを評価する。

5.2 飛出し歩行者との衝突回数

本実験では、実験参加者 8 が NVES と燃費計をともに提示しない通常走行時(条件 1)に、3, 5, 6 回目の歩行者の飛出しを回避できずに衝突した。

5.3 減速による回避行動

5.3.1 回避行動開始時の TTC

各条件での減速による回避行動について、アクセルオフ時とブレーキオン時の TTC の平均値を Fig. 5 (a), (b) に示す。図中のエラーバーは標準偏差を示す。アクセルオフ TTC に関して一要因の分散分析を行なった結果、運転支援システム

Fig. 5 Reaction timing for pedestrian (TTC)

Fig. 6 Reaction timing for pedestrian (ODCA)

の効果について有意差は得られなかった。条件 2, 3 のアクセルペダル操作において、実験参加者が安全だと思う速度域に到達した後は、惰性走行で速度を調節しながら走行しており、その結果としてアクセルオフ TTC の標準偏差が大きくなった。特に、条件 3 では燃費計提示による影響でその傾向が強くなり現われていた。

つぎに、ブレーキオン TTC に関して分散分析を行なった結果、運転支援システムの効果は有意であった ($F(2, 18) = 14.46, p < .01$)。LSD 法を用いた多重比較によると、条件 1 より条件 2, 3 の TTC が 5% 水準で大きくなっていた。すなわち、NVES を提示する場合に回避行動が早まっており、NVES により安全性が向上したといえよう。これは先行研究³⁾の結果と合致するものである。ただし、燃費計提示によるブレーキ反応タイミングへの影響は見られなかった。

5.3.2 回避行動開始時の ODCA

各条件について 15 回の歩行者飛出しに対する回避行動開始時の ODCA (α_o) の平均値と標準偏差を Fig. 6 (a), (b) に示す。図中における水平点線は強調表示を行なう閾値 ($\alpha_o = 1.0 \text{ m/s}^2$)、実線は警報提示を行なう閾値 ($\alpha_o = 4.0 \text{ m/s}^2$) を示している。 α_o の値が大きくなるほど障害物の回避が困難になることをふまえると、条件 1 の回避行動は総じて警報提示基準を上回る傾向、すなわち回避行動が警報よりも遅れる傾向であるのに対し、条件 2, 3 では全体的に反応が早まる傾向が見られ、NVES の有用性が示されている。なお、条件 2, 3 とともに序盤の回避行動で α_o が大きくなっていることが Fig. 6 (b) に示されているが、これは NVES に対する経験の少なさによる影響と推察される。つづいて、条件 2 に着目すると、2 回目以降の飛出しに対しては強調表示提示後から警報が提示

Fig. 7 Average velocity of overall course

Fig. 8 Average velocity of no unsafe event section

される前までにアクセルペダルから足を離し、警報提示直後にブレーキ操作が行なわれる傾向にあることがわかる。つまり、経験を積むにつれて、強調表示が現われたことを確認して回避行動を開始し、警報提示でブレーキを踏むといったように、NVES を上手く利用するようになったことが伺える。

5.4 平均速度

各条件における平均速度を Fig. 7 に示す。平均速度に関して分散分析を行なった結果、運転支援システムの効果は有意であった ($F(2, 18) = 9.42, p < .01$)。多重比較の結果、条件 1 より条件 2, 3 の速度が 5% 水準で大きくなっていた。

本実験では実験参加者に対して「安全だと思う速度で走行して構わない」と教示しており、各条件の走行速度は実験参加者をもつ目標リスク水準と知覚リスク量の関係を反映していると考えられる。RHT によれば、目標リスク水準が低下しなければ、知覚リスク量が目標水準と一致するように行動を変化させてしまう²⁾。本実験で再現した NVES には目標リスク水準を下げる要素はないため、各条件とも実験参加者をもつ目標リスク水準は変化しないと考えるのが妥当であろう。したがって、NVES の導入によって減少した知覚リスク量を目標リスク水準と一致させるように最適化することで、Fig. 7 に示すような速度の差異が現われていると推察される。以下では、危険事象が発生しない区間と危険事象回避時に分けて、走行速度の変化について考察する。

5.4.1 危険事象が発生しない区間の平均速度

危険事象が発生しない区間の走行速度について比較する。本実験では各条件で危険事象がしばらく発生しない区間があり、この区間における各実験参加者の平均速度について平均値を求めた結果を Fig. 8 に示す。上記の区間における平均速度に関して分散分析を行なった結果、運転支援システムの効果について有意であった ($F(2, 18) = 14.54, p < .01$)。LSD 法を用いた多重比較によると、平均速度は条件 2, 3, 1 の順に 5% 水準で大きくなっていた。すなわち、危険事象が発生しない区間では NVES 利用時に速度が増加しており、リスク補償行動が発現していることがわかる。また、条件 2 が条件 3 より 5% 水準で平均速度が大きいことから、通常走行時の速度抑制という観点からみた燃料消費量計の有効性が示唆される。

5.4.2 危険事象発生時の最小速度

つづいて、危険事象発生時の速度について検討する。Fig. 9

Fig. 9 Minimum velocity

Fig. 10 Brake pedal input

Fig. 11 Average fuel economy

は危険事象回避後の最小速度^(注1)の平均値を示し、Fig. 10は危険事象回避時のブレーキ踏み量^(注2)の平均値を示す。Fig. 9より、条件2, 3における最小速度が条件1よりも大きいことがわかる。また、条件2, 3の回避時のブレーキ踏み量が条件1よりも小さいことがFig. 10に示されている。以上の2点から、NVESを利用することで、飛び出した歩行者が通り過ぎるタイミングを事前に合わせて速度調節を行なうことができ、より小さな減速で回避していたと推測される。

したがって、NVES利用時の走行速度は、危険事象が発生しない区間を走行するときと危険事象を回避するときの双方において増加することが確認された。

5.5 平均燃料消費率

各条件の平均燃料消費率をFig. 11に示す。分散分析を行なった結果、運転支援システムの効果は有意であった($F(2, 18) = 15.31, p < .01$)。多重比較によると、条件1, 2, 3の間に5%水準で有意差があった。5.4節で述べたように平均速度では、条件2と条件3で有意差はなかったが、平均燃料消費率に関しては条件2より条件3の燃費が良い結果が得られ、燃費改善に対する燃費計の有用性が確認できる。

5.6 主観評価結果とメンタルワークロード

5.6.1 走行中の心境

質問Aに対する回答結果をTable 2に示す。本実験において、実験参加者自身が行なう危険行動によって得られる利益は「実験が早く終了する」ことであり、逆に危険行動によって被る損失に「危険回避失敗分のペナルティ走行が課される」ことがある。このような状況に置かれた実験参加者が取りう

Table 2 Result of question (a)

Sub.	Condition.1	Condition.2	Condition.3
#1	S	S	F
#2	S	R	F
#3	S	R	R
#4	S	S	S
#5	S	S	F
#6	S	R	R
#7	S	R	S
#8	S	R	F
#9	S	R	R
#10	S	R	F

(a) Con.1 and Con.2

(b) Con.1 and Con.3

Fig. 12 Velocity gap

る行動として、1) 速度を上げて早く実験を終わらせる (リスク派)、2) 安全に走行してペナルティ走行を避ける (慎重派)に分かれることが予想された。ここで、各走行において実験参加者が選択した心境に応じて、実験参加者群をつぎのように定義する。

リスク派: 「速く走行する (R)」を選択

慎重派: 「安全に走行する (S)」を選択

燃費改善派: 「燃費よく走行する (F)」を選択

条件1ではすべての実験参加者が慎重派であった。条件2では、リスク派と慎重派の実験参加者群に分かれて、条件3ではリスク派、慎重派、燃費改善派の3群に分かれた。これらの結果からリスク派の人数の増減が、前述した平均速度の変化に反映されているのではないかと考えられる。

そこで、各派の間で運転行動にどのような違いがあるのか、各条件間における平均速度差という視点から分析する。Fig. 12 (a)は、条件2におけるリスク派である実験参加者群と慎重派である実験参加者群ごとに、条件1と条件2との平均速度差を求めた結果である。Fig. 12 (b)は、条件3におけるリスク派、慎重派、燃費改善派の3群ごとに、条件1と条件3との平均速度差を求めた結果である。図に示すように、条件2, 3ともにリスク派の速度増加量が他に比べて大きくなるという結果になった。また、慎重派であっても、条件2, 3ともに条件1より平均速度が増加する結果となった。本実験では実験参加者数が少ないために、分散分析では有意差は認められなかったが、これらの結果からNVES利用時に速度が増加する、特にリスク派の実験参加者群においてその増加割合が大きくなる可能性が示唆された。

(注1) 回避のために行なった減速完了後、加速し始める時点の速度を表す。

(注2) ブレーキペダルを踏んでいないときを0、ペダルを床まで踏み込んだときを1とする。

Fig. 13 Question B

Fig. 14 AWWL score

NVESを使用できる条件2のときに10名中7人の実験参加者がリスク派となっている。自由記述では、実験参加者3と実験参加者10が『NVESがあることによって安心してしまい、速度の増加につながった。』と回答しており、さらに実験参加者10からは『運転支援システムに安心して速度の増加につながったため、普段速く走ろうとしている人の場合、さらなる速度の増加を招き、危険な状況が発生するかもしれない。』という意見が得られた。以上より、NVESの提供によってリスク補償行動が発現する恐れがあるといえよう。

条件3で燃費改善派になった実験参加者群については、リスク派の実験参加者群より速度差が小さくなっており、燃費計を提示することによりNVES利用による速度増加を抑制できることが示されている。条件2でリスク派だった実験参加者7名のうち3名が条件3で燃費改善派になっていることから、燃費改善派となった実験参加者は、燃費計提示により燃費改善へのモチベーションが高まったのではないかと推察される。つまり、エコドライブへの動機付けがリスク補償行動の抑制に有効であることを示唆する結果といえる。

5.6.2 走行しやすさとNASA-TLX AWWL得点

つぎに、質問Bに対する回答結果において、1位：3点、2位：2点、3位：1点と順位点を定めて求めた全実験参加者の平均値をFig. 13に示す。また、NASA-TLX AWWL得点の平均値をFig. 14に示す。分散分析の結果、運転支援システムの効果はどちらの場合においても有意であった($F(2, 18) = 6.79, p < .01$ および $F(2, 18) = 5.96, p < .05$)。多重比較の結果、両者とも条件2と条件1, 3の間に5%水準で有意差があった。

質問Bに対する結果は走行しやすい順に条件2, 3, 1となっており、メンタルワークロードを測定したNASA-TLX AWWL得点の結果と一致している。これは、条件1と比較して条件2, 3の場合にNVESを使うことができることによって、運転負担が軽減されたことを表わしている。また、条件3の順位が条件2より低い理由としては、燃費計をあわせて提示することによる視認負荷の増加が考えられ、NASA-TLX AWWL得点の結果においても条件2より条件3のスコアが高かった。たとえば、実験参加者10は自由記述にて『燃費計は加速に注意するようになったものの、確認箇所が増えて負担が大きくなった。』と述べており、この回答の前半部は内発的動機付けに基づく省燃費運転を行っていたことを表

Table 3 Knowledge of eco-drive and feelings at condition 3

Sub.	Knowledge of eco-drive	Feelings at condition 3
#1	Do not know	F
#2	Know approximately	F
#3	Know approximately	R
#4	Do not know	S
#5	Know approximately	F
#6	Do not know	R
#7	Do not know	S
#8	Know approximately	F
#9	Do not know	R
#10	Know approximately	F

わしているが、後半部は燃費計提示による負荷の増加を表わしている。したがって、条件3での速度抑制効果が、1) 燃費計提示による省燃費運転、2) 燃費計提示による視認負荷の増加、という二つの要因のいずれか一方が支配的に影響を与えているのか、それとも複合的に作用しあっているのか、本実験結果だけではわからない。この件に関しては今後さらなる検討が必要である。

5.6.3 エコドライブに関する事前知識

つぎに、主観評価アンケートの質問Cに対する回答結果を、条件3における質問Aの回答結果とあわせてTable 3に示す。Table 3に示すようにエコドライブに関して概要ぐらゐの知識があった実験参加者5名のうち4名が燃費改善派であった。また、エコドライブに関して何も知識がなかった実験参加者5名のうち1名が燃費改善派であった。この結果から燃費計を提示して燃費改善派になった実験参加者の多くが、事前にエコドライブに対しての知識があったことがわかる。これはエコドライブに対して関心をもっていたと考えられる実験参加者は、燃費計の提示によって内発的動機付けがなされたことが示唆する結果である。一方、エコドライブに関する知識がなかった実験参加者9は『燃費計の見方がわからない。』と回答している。このことより、エコドライブに関して知識がなかった実験参加者群は、内発的動機付けがなされていなかったと考えられる。また、エコドライブに関して事前に知識があった実験参加者3であっても、自由回答で『燃費計の数値が良いのか悪いのか知識がないので判断できない。』と回答しており、単純にエコドライブの知識さえあればよいということではないことがわかる。

本実験結果をふまえると、運転者に対して燃費計の知識を提供したり、エコドライブに関する知識を事前に教示することで、リスク補償行動の抑制がより効果的に行なわれることが期待される。

6. 結 言

本研究では、通常走行、NVES提示走行、NVESと燃費計提示走行の3条件について、情報提供が運転行動へ与える影響をドライビングシミュレータ実験により検証した。

実験結果では、先行研究と同様に、NVESがある場合には通常走行時よりも危険事象に対する回避行動が早まり、衝突

回数も減少することが確認された。しかしながら、NVES 走行時には通常走行時よりも走行速度が増加しており、主観評価においても NVES があることで安心して速度を上げてしまうという意見が得られた。この行動変容こそリスク補償行動の発現を示す結果といえる。ただし、本稿で示した実験結果はあくまでも短期的な運転行動であり、このような行動変容が継続した場合に、長期的に時間的事故率、すなわちリスクが一定に保たれるのか否か今後検証しなければならない。

また、NVES がある場合でも、燃費計を提示することで副次的に走行速度の増加が抑制されることが示唆された。これは、1) 燃費計提示によって「燃費計の数値を上げたい」という内発的動機付けが運転者内部に生じた、2) 燃費計提示により視認負荷が増加したために NVES 単独使用時よりも相対的に知覚リスク量が増加した、という二つの要因が考えられることが主観評価結果などによって明らかになった。長期的にもリスクが低下するのであれば、省燃費運転に対する内発的動機づけによって目標リスク水準が下げられたと考えることができるが、この検証についても上述のように今後の課題である。

本稿で検討したリスク補償行動抑制の枠組みは、エコドライブに対する内発的動機付けによる“副次的な”効果を狙ったものであり、あくまでも試験的なものである。そこで、安全運転の度合いを何らかの指標を用いて数値化し、提示することで“直接的に”リスク補償行動を抑制させる仕組みについて今後検討したいと考えている。また、実験に用いた燃費計は数値のみを表示したために、『その値を見ても燃費が良いのかわからないので活用しなかった。』という意見があった。この点を改善することでさらなる速度抑制効果が期待されるであろう。さらに、さまざまな特性をもつ多数の実験参加者を対象として実験を行なうことで、本稿で示された結果の信頼性を高めていく予定である。

謝辞 本稿を執筆するにあたり、有益なご助言を賜りました東京大学 IRT 研究機構特任助教岡部康平氏に厚く御礼申し上げます。また、本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金・基盤研究 (A)(No.21241041) の補助を受けたものである。ここに記して感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 平成 21 年交通安全白書, 内閣府 (2009)
- 2) G.J.S. Wilde (芳賀繁 訳): 交通事故はなぜなくなるのか—リスク行動の心理学—, 新曜社 (2007)
- 3) 武内, 増井, 平岡, 熊本, 泉, 畑中: 夜間運転支援システムにおける情報提供の違いが運転行動に与える影響, 計測自動制御学会第 36 回知能システムシンポジウム予稿集, 297/302 (2009)
- 4) 平岡敏洋: 自発的な安全運転を促すためのヒューマン・インターフェースについて, 信学技報, **109**-151 (SSS2009-9), 13/16 (2009)
- 5) 大津博喜: 横滑り防止装置 (ESC) の普及, 自動車技術, **61**-12, 41/45 (2007)
- 6) 上淵寿: 動機付け研究の最前線, 北大路書房 (2004)
- 7) エコドライブ普及連絡会: エコドライブ 10 のすすめ (2005)
- 8) 平岡, 寺門, 松本, 山邊: エコドライブ走行の教示内容および燃料消費量計の提示が燃料消費率低減効果に与える影響, ヒューマンインタフェース学会論文誌, **12**-1, 71/80 (2010)
- 9) 西川, 平岡, 山邊, 松本: ドライビングシミュレータ実験によるエコドライブ運転行動の長期的評価, 第 8 回 ITS シンポジウム 2009 Peer-Review Proceedings, 85/90 (2009)
- 10) 平岡, 田中, 熊本, 泉, 畑中: 衝突回避減速度を用いたリスク評価指標の提案, 自動車技術会論文集, **40**-2, 545/551 (2009)
- 11) 芳賀, 水上: 日本語版 NASA-TLX によるワークロード測定—各種室内実験課題に対するワークロード得点の感度—, 人間工学, **32**-2, 71/79 (1996)
- 12) 三宅, 神代: メンタルワークロードの主観的評価法—NASA-TLX と SWAT の紹介および簡便法の提案—, 人間工学, **29**-6, 399/408 (1993)

[著 者 紹 介]

平 岡 敏 洋 (正会員)

1996 年京都大学大学院工学研究科精密工学専攻修士課程修了。同年松下電器産業株式会社入社。98 年京都大学大学院情報学研究科助手, 2007 年同研究科助教となり現在に至る。ヒューマンマシンシステムの研究, 特に自動車の運転支援システムに関する研究に従事。ヒューマンインタフェース学会, 自動車技術会, 日本機械学会の会員。博士 (情報学)。

増 井 惇 也

2008 年名古屋工業大学工学部電気電子工学科卒業。2010 年京都大学大学院情報学研究科システム科学専攻修士課程修了。同年トヨタ自動車株式会社入社。在学時は自動車の運転支援システムに対する行動変容に関する研究に従事。自動車技術会会員。

西 川 聖 明

2009 年京都大学工学部物理工学科卒業。同年京都大学大学院情報学研究科システム科学専攻に入学。現在, 運転者の動機付けに関する研究に従事。自動車技術会会員。