

ドライバーの速度認識構造を考慮した誘導型予防安全対策の評価フレーム

An Assessment Framework for Inductive Active-Safety Measures Considering Speed-Perception Structure of a Driver

四辻裕文*, 喜多秀行**

Hirofumi YOTSUTSUJI, Hideyuki KITA

*修(工), 神戸大学大学院博士課程, 工学研究科市民工学専攻(〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1丁目1番地)

** 工博, 神戸大学大学院教授, 工学研究科市民工学専攻(〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1丁目1番地)

Driver's speed-perception errors caused by the discrepancy between actual vehicle speed and the perceived speed will make the potential traffic-accident risks high, even though the driver is rational for judgments and no mistakes for operations. In order to prevent such risks, the active-safety traffic measures considering the speed-perception structure of the driver will need to be implemented. This paper suggests a framework for assessing such measures through a speed-utility-based approach that can express the trade-off between driving-fast and driving-safety under a maximum safety speed, and also points out that the active-safety measures with the inductive form such as involvement-in-speed-perception may be preferable to ones with the regulative form such as enforcement-to-speed-utility.

Key Words: active safety, assessment, speed perception, speed utility, inductive
キーワード: 予防安全, 評価, 速度認識, 速度効用, 誘導型

1. はじめに

自動車事故ゼロ社会を本格的に目指すため、事故の発生自体を防ぐような予防安全型の交通安全対策実施に期待が高まっている¹⁾。自動車ドライバーが第1当事者である交通事故の多くは、不適切な速度での走行が事故発生につながっていると言われており¹⁾、不適切な速度での走行は、ドライバーが認識している走行速度が実際の速度と乖離していることによって生じる場合がある。そして、この速度認識エラーは、たとえ運転中の状況判断・意思決定が合理的で、かつ運転操作にミスがなくても、結果的に不適切な速度によって事故危険状態に陥るリスクを高める場合がある。予防安全対策の実施には対策の効果を事前に評価することが求められるが、その際、このような速度認識エラーによる潜在的事故危険状態の回避を目的とするならば、速度認識エラーの構造および合理的な速度選択行動を考慮した評価方法論が必要となる。一般に、予防安全型の交通安全対策は、潜在的事故危険状態に陥ることを未然に防ぐものと、仮に陥ったとしても早期に安全な状態への復帰を誘導するものとに分類される²⁾。本稿では、前者を「強制型」、後者を「誘導型」の予防安全対策と呼ぶことにする。速度認識エラーによる潜在的事故危険状態を防ぐための強制型あるいは誘導

型の予防安全対策を評価するには、速度認識エラーに関するデータに基づいて潜在的事故危険状態を分析し、何らかの予防安全技術を導入して対策を講じた場合に、強制型と誘導型の対策では各々どの程度の効果があるかを評価するフレームが必要となる。データ取得や予防安全技術については技術開発が進んでいる¹⁾²⁾。一方、評価フレームについては、未だ確立しているとは言い難い。

本稿では、ドライバーが走行速度に関して効用をもつという前提のもとで、速度認識構造を考慮した速度効用アプローチに基づいて、強制型と誘導型の予防安全対策の評価フレームを構築する。そして、ラウンドアバウトの流入路における横断歩行者との錯綜による潜在的事故危険状態を例に、構築した評価フレームの有効性を検討する。本稿では、強制型の予防安全対策を、「速度認識エラーを抱くドライバーの速度効用水準を強制的に低下させることによって、潜在的事故危険状態に陥ることを未然に防ぐ対策」と定義する。一方、誘導型を、「速度効用水準はそのままドライバーの速度認識構造に関与することによって、潜在的事故危険状態に陥ったとしても早期に安全な状態への復帰を誘導する対策」と定義する。これまでも速度効用アプローチに基づく安全対策の評価フレームは提案されてきた³⁾。しかし、速度認識構造を組み込んで、強制型・誘導型対策の効果の違いを明示

的に考慮した評価フレームは、著者らの知る限りない。

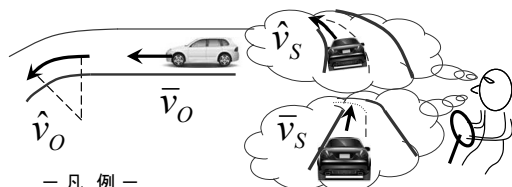
2. 予防安全対策の評価フレームの構築

2.1 速度認識エラーと潜在的事故危険状態との関係

本節では、ドライバーの速度認識エラーによって、どのような潜在的事故危険状態が生じるかを考察する。

以下、ドライバーの速度認識構造には他車の速度が影響しないと、図-1 のような速度認識構造を考える。図-1 において、ドライバーは、自身にとって未知である \hat{v}_O に対し、 \hat{v}_S を意図する。そして、 \hat{v}_S のもとで時々刻々と \bar{v}_S を認識する。 \hat{v}_O の事前情報がない場合、 \hat{v}_O と \hat{v}_S は必ずしも一致しない。また、 \bar{v}_O について速度計を見ない場合、 \bar{v}_O と \bar{v}_S は必ずしも一致しない。図-1 はカーブを例にしているが、この他にも、速度認識エラーが生じる状況を例示するのは容易である。例えば、高速道路オフランプにおいて、標識等による曲率・勾配の情報提供がなく、前方注視のため速度計をよく見ない場合や、交通量が非常に少ないラウンドアバウト流入路において、環道までの減速停止距離の情報提供がなく、横断歩行者を注視するため速度計をよく見ない場合等がある。

図-1 の \hat{v}_O 、 \hat{v}_S 、 \bar{v}_O 、 \bar{v}_S に基づく認識エラーによって、図-2 に示す3つの潜在的事故危険状態が考えられる。図-2 において、第1の潜在的事故危険状態は、未知の \hat{v}_O に対して $\hat{v}_O < \hat{v}_S$ となる \hat{v}_S を意図する場合である。第1の状態では、安全上限速度の意図に関する勘違いによってエラーが生じる。第2の状態は、 $\hat{v}_O \geq \hat{v}_S$ となる \hat{v}_S を意図し、かつ $\hat{v}_S \geq \bar{v}_S$ となる \bar{v}_S を認識するが、実際の \bar{v}_O は $\bar{v}_O > \bar{v}_S$ かつ $\bar{v}_O > \hat{v}_O$ となる場合である。第3の状態は、 $\hat{v}_O \geq \hat{v}_S$ となる \hat{v}_S を意図するが、 $\hat{v}_S < \bar{v}_S$ となる \bar{v}_S を認識し、実際の \bar{v}_O は $\bar{v}_O > \bar{v}_S$ かつ $\bar{v}_O > \hat{v}_O$ となる場合である。第2と第3の状態では、安全上限速度の意図にエラーはないが、走行速度の知覚に関する錯覚によってエラーが生じる。第2と第3の状態の違いは、第3の場合、 \hat{v}_S の意図に対して $\hat{v}_S < \bar{v}_S$ となる \bar{v}_S を選択している点にあり、これはリスクテイキングな選択を意味する。本稿では、これらの潜在的事故危険状態のうち、特に第3の状態を念頭に置いて、予防安全対策の評価フレームを構築するものとする。



— 凡例 —

\hat{v}_O : 道路構造上から決まる客観的な安全上限速度

\hat{v}_S : \hat{v}_O に対する主観的な安全上限速度

\bar{v}_O : 自動車の実際の走行速度

\bar{v}_S : \bar{v}_O に対する主観的な走行速度

図-1 速度認識構造

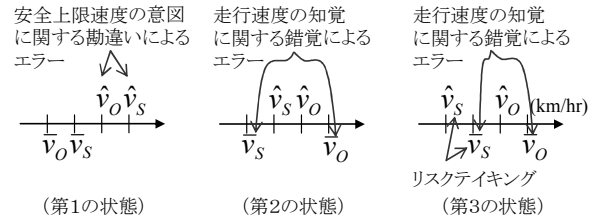


図-2 速度認識エラーによる潜在的事故危険状態

2.2 ドライバーの速度知覚構造

本節では、 \bar{v}_O に対する \bar{v}_S の速度知覚構造を考察する。 \bar{v}_O と \bar{v}_S の間に錯覚によるエラーが生じる原因のひとつに、走行中のドライバーが抱く速度感の影響が考えられる。交通工学や交通心理学における速度感の研究では、 \bar{v}_O と \bar{v}_S の関係が実証的にはべき関数で近似できることが知られている。しかし、理論的にみても同様の関数関係が成り立つかについては必ずしも明確でなく、ドライバーの速度知覚構造には不明な点が多かった。

ドライバーは、運転中に利用する知覚情報のほとんどを視覚から得ていると言われている。著者らは、走行中のドライバーが抱く速度感、視覚的な距離感との関連性が大きいと考え、視覚的な距離知覚に基づく速度知覚構造モデルを構築した⁴⁾。ドライバーが運転中に利用する知覚情報は、視覚情報のみならず、聴覚情報、振動情報、平衡感覚情報なども含まれる。そこで、視覚情報の他の知覚情報の影響要因を E 、ドライバーの属性や運転技能などの影響要因を ζ とおき、 \bar{v}_O に対する \bar{v}_S の視覚的な速度知覚構造 φ を、次式で定義する。

$$\bar{v}_O = \varphi(\bar{v}_S, E, \zeta) \quad (1)$$

φ の理論モデル構築に際しては、 \bar{v}_O に対する \bar{v}_S の視覚的な影響のみがモデルのパラメータに反映されると仮定し、 E や ζ の影響は区別して扱うものとする。

2.3 速達性と安全性に関する速度効用構造

本節では、ドライバーの速度効用構造を考察する。

ドライバーは、安全性・速達性・快適性・定時性などをできるだけ満足する水準で走行することを望んでいると考えられる。ドライバーが速度効用を抱くことを前提とするならば、これらの水準の達成度は、ドライバーが選択する速度 \bar{v}_S に反映されると考えることができる。本稿では、ドライバーの速度認識に特に影響が大きいと考えられる安全性と速達性に着目し、安全性と速達性に関する速度効用のトレードオフ関係を仮定する。同様の仮定は、松尾・廣島等の先行研究³⁾でも行われている。ただし、松尾・廣島等は、限界効用が逓減する単調増加の速度効用関数を仮定するとともに、速度の不効用で事故リスクを表現し、速度効用と事故リスクの加法分離型で効用構造を表現している。しかし、「なるべく早く走行したいが、安全上限速度を超過するような過度な速度は避けたい」という安全性と速達性のトレードオフ関係を

ば、減速誘導マーキング（標示間隔を徐々に狭くすることで錯視によって減速させる路面標示）等が考えられる。本稿では、これら個別の技術の評価については言及しない。その代わりに、後ほど4.において、ラウンドアバウトの流入路における横断歩行者との錯綜事故危険状態を対象に、本節で示した評価フレームを用いて、強制型と誘導型の予防安全対策の効果を比較検討する。

3. 速度知覚構造と速度効用構造のモデル化

3.1 速度知覚構造のモデル化

式(1)で定義したドライバーの視覚的な速度知覚構造 φ について、著者らは、次式を提案している⁴⁾。

$$\frac{\bar{v}_O^{t+1}}{\bar{v}_O^t} = c_{t+1} \left(\frac{\bar{v}_S^{t+1}}{\bar{v}_S^t} \right)^{\beta(\alpha_{t+1})} + \xi_{t+1} \quad (6)$$

\bar{v}_O と \bar{v}_S の添字 t は、ドライバーが速度を知覚する時点を表す。 ξ_{t+1} は、式(1)における E と ζ の影響を表す。 β は、視覚的な速度感の感度 α_{t+1} に依存するパラメータである。走行速度の知覚では、 $0 < \beta(\alpha_{t+1}) < 1$ となることが判明している⁴⁾。これは、加速時（減速時）には思ったよりも実際は加速（減速）していないことを意味する⁴⁾。誤差項 ξ_{t+1} の分布を正規分布等で仮定すれば、 \bar{v}_S と \bar{v}_O のデータから、 c_{t+1} と $\beta(\alpha_{t+1})$ が推定できる。

3.2 速度効用構造のモデル化

式(2)で定義した速度効用構造を、次の関数で表す。

$$U(\bar{v}_S | \hat{v}_S, \gamma, \lambda) = \gamma \bar{v}_S + \exp[\lambda] - \exp[\lambda(\bar{v}_S | \hat{v}_S)] \quad (7)$$

式(7)の右辺第2項と第3項は、式(2)の安全性に関する部分効用 $u_2(\bar{v}_S | \hat{v}_S, \lambda)$ を表す。第2項の $\exp[\lambda]$ は、 \bar{v}_S がゼロのときの安全効用水準であり、 λ に依存する。第2項と第3項の部分効用を指数関数の構造で表しているのは、危険回避度が λ / \hat{v}_S となって \hat{v}_S の条件付きで一定になること、 $U(\bar{v}_S | \hat{v}_S)$ が、図-3に示したように、 \bar{v}_S に関して2回微分可能で上に凸の単峰型となること、パラメータが計算可能な構造であること、等の理由による。

本稿では、式(7)の速度効用構造を \bar{v}_S の離散選択モデルから特定化する。 \bar{v}_S の選択確率 $\Pr[\bar{v}_S]$ を求めるために、次式のようなランダム効用モデルを仮定する。

$$U(\bar{v}_{Si} | \hat{v}_{Sk}, \gamma_k, \lambda_k) = \gamma_k \bar{v}_{Si} + \exp[\lambda_k] - \exp[\lambda_k(\bar{v}_{Si} | \hat{v}_{Sk})] + \varepsilon_{ik} \quad (8)$$

ただし、 \hat{v}_S と \bar{v}_S の選択肢集合を、 $\hat{v}_S = \{\hat{v}_{Sk}\}_{k=1}^K$ 、 $\bar{v}_S = \{\bar{v}_{Si}\}_{i=1}^J$ とする。式(8)のパラメータ γ_k と λ_k は、 \hat{v}_S の潜在クラス k ごとにセグメンテーションされる。 ε_{ik} は、速度知覚構造 φ から得た \bar{v}_O を、 \bar{v}_S の選択肢に丸める際の確率項を表す。 ε_{ik} の確率分布については、中心極限定理により正規分布を仮定することが妥当と考

えることもできるが、次に示す潜在クラスロジットモデルの操作性を勘案し、本稿ではガンベル分布を仮定する。

\bar{v}_S の選択確率 $\Pr[\bar{v}_S]$ は、次に示すような、潜在クラスロジットモデルから求めるものとする。

$$\Pr[\bar{v}_{Si}] = \sum_{k=1}^K \Pr[\bar{v}_{Si} | \hat{v}_{Sk}] \hat{\pi}_k \quad (9a)$$

$$= \sum_{k=1}^K \frac{\exp[U(\bar{v}_{Si} | \hat{v}_{Sk}, \gamma_k, \lambda_k)]}{\sum_{j=1}^J \exp[U(\bar{v}_{Sj} | \hat{v}_{Sk}, \gamma_k, \lambda_k)]} \hat{\pi}_k$$

$$\sum_{k=1}^K \hat{\pi}_k = 1 \quad (9b)$$

$\hat{\pi}_k$ は、 \hat{v}_{Sk} の潜在クラス k への帰属確率を表す。一般に、式(9a)(9b)のパラメータ γ_k と λ_k 、および帰属確率 $\hat{\pi}_k$ を同時に推計することは困難な場合が多い。本稿では、EMアルゴリズムを用いて γ_k と λ_k 、および $\hat{\pi}_k$ を交互に最適探索する。EMアルゴリズムは、 \hat{v}_{Sk} のどのクラスに \bar{v}_{Si} が属するか分からないような不完全なデータに対する最尤推定法である。EMアルゴリズムで推計した $\hat{\pi}_k$ は、 \bar{v}_{Si} を獲得する以前の事前確率である。 \bar{v}_{Si} を獲得した後のデータ履歴 y_i から、尤度 $f(y_i | \gamma_k, \lambda_k)$ が得られるので、事前確率 $\hat{\pi}_k$ は、次式のようにベイズ更新されて、事後確率 $\mu(\hat{v}_{Sk} | \bar{v}_S)$ を得ることになる。

$$\mu(\hat{v}_{Sk} | \bar{v}_S) = \frac{f(y_i | \gamma_k, \lambda_k) \pi_k}{\sum_{k=1}^K f(y_i | \gamma_k, \lambda_k) \pi_k} \quad (10a)$$

$$f(y_i | \gamma_k, \lambda_k) = \prod_{i=1}^J p(\bar{v}_{Si} | \hat{v}_{Sk}, \gamma_k, \lambda_k)^{y_i} \quad (10b)$$

4. 数値事例

4.1 ラウンドアバウト

ラウンドアバウト（以下、RA と略す）は、比較的交通量が少ない平面交差点の無信号制御方式である。同様の制御方式としてロータリーがある。RA とロータリーの違いは、通行優先権にある。RA は、環道の周回車両に通行優先権があり、各流入路から進入する車両に対し、ゆずれ制御あるいは一時停止制御が行われる。

RA に関する既存研究は、環道における周回車両と進入車両の錯綜状況を対象とした研究が多く、流入路における進入車両と横断歩行者の錯綜状況に着目した研究は多くない。本節では、RA 流入路における横断歩行者との錯綜事故危険状態を対象に、ドライバーに対して強制型・誘導型の予防安全対策を実施して車両を減速させる場合に対して、提案した評価フレームの適用例を示す。

4.2 想定する潜在的事故危険状態

RA 流入路に進入してきたドライバーは、歩行者信号がないため、横断歩行者との錯綜を避けて横断歩道の手前で停止するか、横断歩道を通り過ぎるかの状況判断を下

さなければならぬ。今、RA 流入路の横断歩道が、ゆずれ線から距離 l だけセットバックしており、横断歩道を歩行者が横断中に、1 台の進入車両が接近する状況を考える（図-6）。進入車両がゆずれ線を越えて環道内で制動停止する状況がないように、セットバック距離 l が調整される。今、ある希望速度 \hat{v}_S で横断歩道を通しようとするドライバーが、進入速度 \bar{v}_S の制動停止距離は \bar{D}_S であると認識していたとする。歩行者は横断歩道にポアソン到着するものとし、平均到着率を ϕ とする。ドライバーが進入速度 \bar{v}_S で認識する制動停止時間を $\bar{\tau}_S$ 、希望速度 \hat{v}_S で横断歩道を通する時間を $\hat{\tau}_S$ とおく。 $\hat{v}_S < \bar{v}_S$ のとき、当該車両は、横断歩道を越えて制動停止するため、横断歩行者と錯綜する事故危険状態が生じる。このとき、 $\bar{\tau}_S - \hat{\tau}_S$ 内に少なくとも 1 人以上の歩行者と錯綜事故が生起する確率 p_S^1 、および錯綜事故が生起しない確率 p_S^0 は、次式で表される。ただし、 p_S^1 、 p_S^0 は、いずれもドライバーが認識する確率である。

$$p_S^1 = 1 - p_S^0 = 1 - \exp[-\phi(\bar{\tau}_S - \hat{\tau}_S)] \quad (11a)$$

$$\bar{D}_S = r\bar{v}_S + (\bar{v}_S)^2 / (2d_S) \quad (11b)$$

$$\bar{\tau}_S = \bar{D}_S / \bar{v}_S \quad (11c)$$

$$\hat{D}_S = \hat{\tau}_S \bar{v}_S \quad (11d)$$

$$\hat{\tau}_S = \{r\hat{v}_S + (\hat{v}_S)^2 / (2d_S)\} / \hat{v}_S \quad (11e)$$

ただし、 r は反応時間、 d_S は平均減速度である。ドライバーの運転操作にミスがないと仮定し、 r は定数として扱う。一方、 d_S は、ドライバーが交通状況に応じて認識する値である。本稿では、式(6)の速度知覚モデルの時点 t を勘案し、ドライバーが \bar{v}_S の認識を 2 時点で行うと仮定し、その値をもとに d_S を求めるものとする。 p_S^1 は、進入車両が横断歩道を越えて制動停止したときに横断歩行者が存在する確率であり、本稿では、これを歩行者との錯綜事故の生起確率とみなしている。

ここまでの理解のため、図-7 と図-8 に数値例を示す。図では、 $r = 0.7$ [sec]、 $d_S = 3.0$ [m/sec²]、 $\phi = 10$ [人/10分] と設定し、 $\hat{v}_S = 30$ [km/hr] の場合を例示している。 $\hat{v}_S < \bar{v}_S$ の領域が、横断歩行者と錯綜する事故危険状態にある。図-8 の $\bar{\tau}_S - \hat{\tau}_S$ が拡大するに従い、歩行者との錯綜事故が生起する確率 p_S^1 が増加する。

次に、上記の \hat{v}_S と \bar{v}_S が分布をもつ場合を考える。 \hat{v}_S と \bar{v}_S に選択肢集合を仮定し、 \hat{v}_S と \bar{v}_S の離散選択を考える。ドライバーが速度効用 $U(\bar{v}_S | \hat{v}_S)$ をもつと仮定すると、 \bar{v}_S の選択確率 $\Pr[\bar{v}_S]$ は、3. で定式化した潜在クラスロジットモデルで表される。ドライバーが \bar{v}_S で制動停止しようと減速したとき、実際の速度 \bar{v}_0 に乖離が生じると仮定し、速度知覚構造 ϕ を考慮する。

\hat{v}_S と \bar{v}_S が離散分布をもつ場合、選択肢 \bar{v}_{Si} に対応する $\bar{\tau}_{Si}$ と選択肢 \hat{v}_{Sk} に対応する $\hat{\tau}_{Sk}$ の差 $\bar{\tau}_{Si} - \hat{\tau}_{Sk}$ も分布する。式(11a)の p_S^1 は、 \hat{v}_{Sk} の帰属確率 $\hat{\pi}_k$ と、 \bar{v}_{Si} の選択確率 $\Pr[\bar{v}_{Si}]$ に応じて、分布することになる。このと

き、 p_S^1 の期待値 $E[p_S^1]$ は、次式で表される。

$$E[p_S^1] = \sum_{k=1}^K \hat{\pi}_k \sum_{i=1}^J \Pr[\bar{v}_{Si}] \{1 - \exp[-\phi(\bar{\tau}_{Si} - \hat{\tau}_{Sk})]\} \quad (12)$$

以上で想定したような進入車両と横断歩行者との錯綜状況は、非常に単純な状況である。RA 流入路の潜在的事故リスクについてより詳細な分析を行うには、例えば、進入車両が横断歩行者に対して進路を譲る（逆に横断者が進入車に進路を譲る）といったゲームの状況や、制動停止しようとする車両が環道内で停止してしまうことによる周回車両との交錯リスクなども分析する必要がある。本稿は、予防安全対策の評価フレームの有効性を検討することが主たる目的であり、RA の性能分析が目的でないため、このような詳細な検討はしない点を断っておく。

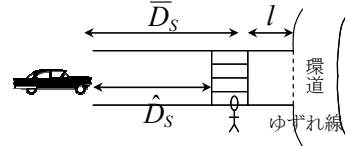


図-6 対象とする RA 流入路の状況

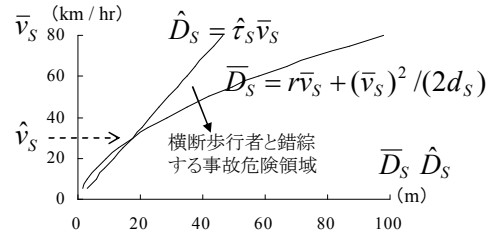


図-7 横断歩行者と錯綜する事故危険領域（1）

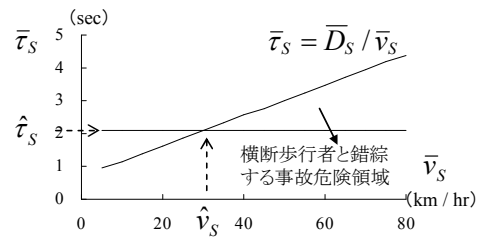


図-8 横断歩行者と錯綜する事故危険領域（2）

4.3 前提条件

まず、 \hat{v}_S と \bar{v}_S の選択肢集合を $\hat{v}_S = \{\hat{v}_{Sk}\}_{k=1}^K = \{20, 30, 40\}$ [km/hr]、 $\bar{v}_S = \{\bar{v}_{Si}\}_{i=1}^J = \{30, 40, 50, 60\}$ [km/hr] とし、ある選択データセットを設定する。潜在クラスロジット分析の結果、 $\hat{\pi}_k = \{0.327, 0.128, 0.546\}$ （選択肢集合の要素の順に対応。以下、同様）、 $\Pr[\bar{v}_{Si}] = \{0.129, 0.231, 0.414, 0.226\}$ 、 $\gamma_k = \{0.309, 0.307, 2.272\}$ 、 $\lambda_k = \{0.947, 1.416, 2.587\}$ を得る。また、 $\bar{D}_S = \{9.0, 17.4, 28.4\}$ [m]、 $\hat{\tau}_S = \{1.6, 2.1, 2.6\}$ [sec] を得る。以上の結果に

に基づき、 $E[p_s^1] = 0.012$, $E[p_s^0] = 0.988$ が導出される。

次に、速度知覚構造 φ のパラメータを扱う。本来ならば \bar{v}_S と \bar{v}_O から計測するのだが、ここでは著者らの研究⁴⁾をもとに $c_{t+1} = 1.067$, $\beta(\alpha_{t+1}) = 0.652$ と設定し、 \bar{v}_O を求める。この場合の速度知覚構造を、図-9 に示す。

次に、予防安全対策を実施する際に対象となる速度効用構造を推定する。 $\hat{\pi}_k$ が最も高い $\hat{v}_S = 40$ [km/hr] を選ぶとすると、 $\Pr[\bar{v}_{S_i} | \hat{v}_{S_k}] = \{0.0, 0.0, 0.59, 0.41\}$ となり、 $\bar{v}_S = 50$ [km/hr] と 60 [km/hr] の選択確率が同程度となる。一方、 $\bar{v}_S = 50$ [km/hr] と 60 [km/hr] の速度認識に対し、 \bar{v}_O は各々、 55.6 [km/hr] と 65.9 [km/hr] となる。 $\hat{v}_O = \hat{v}_S$ を仮定し、 $\hat{v}_S = 40$ [km/hr] のもとで、式(11b)(11c)(11e)に \bar{v}_O を代入して $\bar{D}_O - \hat{D}_O$ を計算すると、各々、 11.2 [m] と 21.9 [m] となり、歩道幅員を 4 [m] としても、 $7.2 \sim 17.9$ [m] のセットバック距離 l が必要となる。そこで、安全側をみて、より l が長い $\bar{v}_S = 60$ [km/hr] を対象とする。 $\hat{v}_S = 40$ [km/hr] の速度効用は、図-10 のようになる。

4.4 強制型対策と誘導型対策による減速効果の評価

まず、図-9 をもとに、誘導型対策の効果を検討する。何らかの予防安全技術によって速度知覚構造をシフトさせると、 $\bar{v}_S = 60$ [km/hr] の効用水準はそのまま \bar{v}_O を \hat{v}_O まで減速させることができる。しかし、 25 [km/hr] ほど減速させるには、“45 度線の上側”にある速度認識を大きくシフトさせる必要がある。これは、“思ったより速度が出ている状態”から、“思ったよりも速度を出さない”と錯覚する状態”へのシフトであり、この実現には、かなりの錯覚効果をもつ技術が必要になると考えられる。

次に、図-10 をもとに、強制型対策の効果を検討する。 $\bar{v}_S = 60$ [km/hr] の効用水準に対し、予防安全技術で $U^V = 17.9$ の不効用を与え、 $\varphi^{-1}(\hat{v}_O) = 35$ [km/hr] の効用水準を相対的に高めることで、 \bar{v}_O を \hat{v}_O まで減速できる。

誘導型せよ強制型にせよ、いずれも \hat{v}_O まで減速させることで、 $\bar{D}_O - \hat{D}_O$ を 21.9 [m] から 3.1 [m] まで低下でき、セットバック距離 l は、理論上は不要となる。

5. おわりに

本稿では、ドライバーの速度認識構造を考慮した速度効用アプローチに基づく予防安全対策の評価フレームを提案し、強制型対策と誘導型対策の評価を行った。

いずれの対策が望ましいかについては、 $\tilde{\varphi}$ の変更コストと、 U^V を強制する労力コストとの比較による。強制型対策は、個々のドライバーへの取り締まりや個々の車両への ISA 搭載等によって、個々の効用水準に働きかけ、 U^V を強制する労力が必要となる。つまり、強制する対象の数だけ、労力が必要となるのである。一方、誘導型対策は、個々のドライバーの速度認識構造に作用する技術が必要ではあるが、認識構造を $\tilde{\varphi}$ に変更させるうえで、個別の強制力は必要としない。これは、誘導型対策の大きな利点である。例えば、減速誘導マーキング等を路面

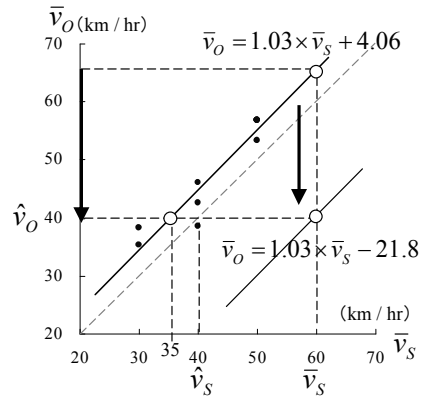


図-9 本事例に対する誘導型予防安全対策の減速効果

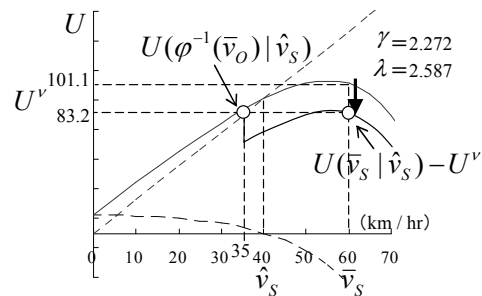


図-10 本事例に対する強制型予防安全対策の減速効果

に設置しておけば、速度認識エラーをもつドライバーがあたかも自主的に減速するように振る舞うことになる。

近年、ISA の評価手法の確立が求められているが、速度効用関数を予め車載して、規制速度まで減速する U^V を定量化することで、ISA の評価が可能であり、本稿の評価フレームが応用できるだろう。また、速度知覚構造モデルをドライビング・シミュレータに組み込んで、ドライバーの速度認識エラー等を確認・改善するための教育・訓練に用いれば、交通安全教育の効果が期待できる。

最後に、誘導型対策が効果を得るには、誘導型の予防安全技術の開発が不可欠である。今後の進展に期待する。

参考文献

- 1) 日本学術会議，工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会：交通事故ゼロの社会を目指して，提言，<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo>, 2008.
- 2) 国土交通省総合政策局技術安全課：ヒューマンエラー事故防止のための予防安全型技術導入ガイドライン，<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/safety>, 2008.
- 3) 松尾幸二郎，廣島泰裕，中西仁美：安全性と利便性のトレードオフ関係を考慮した安全対策評価のための運転挙動分析モデル，土木計画学研究・論文集，Vol.25, No.4, pp.989-996, 2008.
- 4) 四辻裕文，喜多秀行：ドライバーが抱く視覚的な距離感と速度感に関する知覚構造モデルの提案，IATSS Review, Vol.34, 2009. (掲載予定)

(2009年8月7日受付)