

# ドライバーの速度認識構造を考慮した潜在的事故発生確率の推定モデル\*

A Estimation Model for Potential Accident Probability Considering Speed Perception Structure of a Driver\*

四辻裕文\*\*・喜多秀行\*\*\*

By Hirofumi YOTSUTSUJI\*\*・Hideyuki KITA\*\*\*

## 1. はじめに

交通事故ゼロの社会を目指して、ドライバーの認識エラーを未然に回避・軽減することを目的とした予防安全型対策の本格的実施に期待が高まっている<sup>1)</sup>。特に、自動車交通事故の多くは不適切な速度に起因して発生するケースが多いと考えられる<sup>1)</sup>ことから、予防安全型の速度マネジメント対策への期待は大きい。この対策は、ドライバーが認識していないにも関わらず安全速度を超過するような潜在的事故危険状態に対し、その状態に陥ることを防止する、あるいは陥ったとしても早期に安全速度の走行状態へと復帰を誘導するものである<sup>2)</sup>。このような対策を導入するには、潜在的事故リスクがどの程度かについて、データに基づく事前評価が必要になるだろう。しかし、データについては、ヒヤリ・ハット事象をセンサやレコーダで計測・蓄積する技術開発が進む一方で、そのデータを使って潜在的事故リスクを評価する方法論については、未だ確立しているとは言い難い。

そこで本稿では、この潜在的事故リスクを評価するうえで必要となる潜在的事故発生確率について、ドライバーの速度認識構造を考慮した推定モデルを構築する。潜在的事故危険状態が存在する走行状況として、単独車両のカーブ進入行動を取り上げる。ドライバーの速度認識は自車に対してのみであり、他車の影響はないとする。また、潜在的事故危険状態として、ドライバーが主観的に抱くカーブ通過時の安全上限速度あるいはカーブ進入速度が、実際の速度と乖離する状態を想定する。そして、安全上限速度を実際の進入速度が超過する事故リスクのみならず、「最大これくらいの速度でカーブを通過できる」という認識にエラーが生じているような潜在的事故リスクも考慮した事故発生確率の推定モデルを提案する。

\*キーワード：交通安全，計画情報

\*\*学生員，工修，神戸大学大学院工学研究科博士課程

(兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1、TEL:078-803-6013、

E-mail:yotutuzi0932@miracle.ocn.ne.jp)

\*\*\*正員，工博，神戸大学大学院工学研究科

(兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1、TEL:078-803-6008、

E-mail:kita@crystal.kobe-u.ac.jp)

## 2. モデル構築のための枠組み

### (1) 本稿で想定する潜在的事故危険状態

本稿では、潜在的事故危険状態として、交通量が非常に少なく家屋の隣接もない走りやすい道路カーブに進入しようとする単独車両ドライバーの速度認識エラーを考える。鈴木・萩原らの研究<sup>3)</sup>では、非市街地の2車線道路カーブにおいて、昼間、ドライバーはカーブ曲率に応じて60~400m前でカーブを発見すること、発見時の地点速度はカーブ曲率に応じて変化して40~60km/hになることを報告しており、カーブ発見の遅れによる事故リスクの存在を指摘している。そして、カーブにおける運転行動プロセスの知覚・認知レベルの予防安全型対策として、カーブ通過時の視線誘導とともに、カーブ進入前の注意喚起の重要性を指摘する。一方、著者らは、たとえカーブ発見が遅れがなくても、カーブ曲率に応じて変化する主観的な安全上限速度が、道路構造上の安全上限速度(カーブ曲率から逆算されるカーブ通過速度)を超過したまま、カーブに進入するという潜在的事故リスクの存在に関心をもつ。この場合、知覚・認知レベルの予防安全型対策は、注意喚起よりも、むしろ速度認識エラーを未然に回避・軽減することが必要になるだろう。

今、ドライバーはカーブ進入に際し、カーブ通過時の安全上限速度 $\hat{v}_s$ を知覚するとする。彼は、道路構造上の安全上限速度 $\hat{v}_0$ は知り得ないとする。彼は、カーブに近づくごとに、主観的なカーブ進入速度 $\bar{v}_s$ を知覚し、自車を運転操作する。その際、自車の実際の進入速度は $\bar{v}_0$ とする。カーブ進入時にはカーブを注視するため速度計をよく見ないとするならば、 $\bar{v}_s$ と $\bar{v}_0$ が乖離する可能性がある。また、カーブ手前での情報提供がないならば、 $\hat{v}_s$ と $\hat{v}_0$ が乖離する可能性がある。このような速度認識エラーは、ドライバーが潜在的事故危険状態にあることを意味する(図-1)。

### (2) 潜在的事故危険状態に関する心理学の知見

ここで、 $\hat{v}_s$ 、 $\hat{v}_0$ 、 $\bar{v}_s$ 、 $\bar{v}_0$ を用いて潜在的事故危険状態を考える妥当性を、交通心理学の運転行動研究の知見に照らして考えてみる。Wildeのリスクホメオスタシス仮説<sup>4)</sup>は、ドライバーは $\hat{v}_s - \bar{v}_s = 0$ となる心理

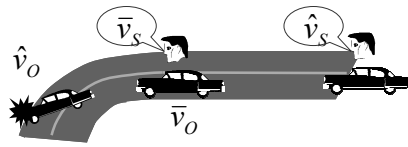


図-1 本稿で想定する潜在的事故危険状態

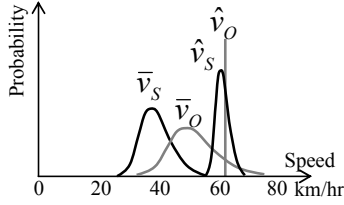


図-2 本稿で想定する潜在的事故発生確率

的な秤 (comparator) をもち、 $\hat{v}_s - \bar{v}_s > 0$  ならば、安全余裕 (safety margin) を調節して  $\bar{v}_s$  を高く見積もるというリスクテイキングな態度をとる、と説明できる。また、Summalaのゼロリスク仮説<sup>5)</sup>は、ドライバーは  $\hat{v}_s - \bar{v}_s = 0$  といったホメオスタシスを行わず、元々  $\hat{v}_s - \bar{v}_s > 0$  という安全余裕 (つまり主観的なゼロリスク) を見込んでおり、 $\bar{v}_s$  の歪められた速度効用 (distorted speed utility) によって、 $\hat{v}_o - \bar{v}_o < 0$  という事故リスクが生じる、と説明できる。前者は、 $\hat{v}_s$  と  $\bar{v}_s$  に乖離はないと主張する。後者は、 $\hat{v}_s$  と  $\bar{v}_s$  に乖離があり、 $\hat{v}_o$  と  $\bar{v}_o$  にも乖離が生じると主張する。

交通心理学の運転行動研究では、この他にも数多くの行動心理仮説が提案されている。ところが、今のところ、統一的な行動心理仮説のもとで潜在的事故危険状態を説明することはできていない<sup>6)</sup>。しかし、 $\hat{v}_s$ 、 $\hat{v}_o$ 、 $\bar{v}_s$ 、 $\bar{v}_o$  を用いて、上記のように、既存の心理仮説を説明することはできる。本稿では、 $\bar{v}_s$  と  $\bar{v}_o$  の乖離、 $\hat{v}_s$  と  $\hat{v}_o$  の乖離に着目することで、 $\hat{v}_o - \bar{v}_o < 0$  となる事故リスク、および  $\hat{v}_o - \hat{v}_s < 0$  となる潜在的事故リスクを考えることにする (図-2)。

### (3) ドライバーの速度認識構造

$\bar{v}_s$  と  $\bar{v}_o$  に乖離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、この乖離の関係は実証的にベキ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、これまで必ずしも明確でなく、ドライバーの速度認識構造には不明な点が多かった。

著者らは、走行中のドライバーが抱く速度感は、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<sup>7)</sup>。視覚心理学におけるドライバーの視知覚に関する研究では、ドライバーは、前方視環境の路面上に存在する視覚刺激

の配列 (optic array) を情報源として距離を知覚し、視覚刺激の流動 (optic flow) を情報源として自己移動の速度を知覚できることが知られている<sup>8)</sup>。ドライバーは、このoptic flowから  $\bar{v}_s$  を視知覚する。運転操作の結果、自車の地点速度は  $\bar{v}_o$  となる。このとき、 $\bar{v}_o$  がもたらす前方視環境のoptic flowから、ドライバーは再び  $\bar{v}_s$  を視知覚することになる。

ドライバーが速度認識に利用する知覚情報は、このような視覚情報のみならず、例えば車体からの聴覚情報や振動情報、加速・減速時の平衡感覚情報といった他の知覚情報の要因  $E$ 、更にドライバーの運転属性や運転技能といった要因  $\zeta$  が影響すると考えられる。そこで、ドライバーの速度知覚構造  $\phi$  を、次式で定義する。

$$\bar{v}_o = \phi(\bar{v}_s, E, \zeta) \quad (1)$$

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。そこで、式(1)の速度知覚構造  $\phi$  において  $E$  や  $\zeta$  の影響が非常に小さいと仮定し、optic flowの考え方をもとに  $\bar{v}_s$  と  $\bar{v}_o$  の関係をモデル化することにする。

### (4) 安全性と速達性に関する速度効用

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の速度で走行することを望んでいると考えられる。本稿では、カーブ進入時にドライバーが特に重視していると考えられる安全性と速達性に着目する。そして、ドライバーは、カーブ進入時に、「なるべく早くカーブを通過したいが、過度な進入速度は避けたい」と考えているとし、速達性と安全性の効用のトレードオフを仮定する。さらに、速達性と安全性の効用は、 $\bar{v}_s$  に反映されるとし、速度効用の概念を導入する。

今、速度効用の水準  $U$  は、安全上限速度  $\hat{v}_s$  の条件付きで、optic flowから知覚する速度  $\bar{v}_s$  の関数として表されるとする。この速度効用関数  $U(\bar{v}_s | \hat{v}_s)$  は、速達性と安全性の効用のトレードオフを扱うために、次式のような加法分離型の効用構造で表されると考える。

$$U(\bar{v}_s | \hat{v}_s, \gamma, \lambda) = u_1(\bar{v}_s | \gamma) + u_2(\bar{v}_s | \hat{v}_s, \lambda) \quad (2)$$

ここで、第1項  $u_1(\bar{v}_s | \gamma)$  は、速達性に関する部分効用であり、簡単のため  $\bar{v}_s$  に比例して単調増加すると仮定する。 $\gamma$  は比例パラメータで、 $\gamma > 0$  である。第2項  $u_2(\bar{v}_s | \hat{v}_s, \lambda)$  は、安全性に関する部分効用であり、 $\bar{v}_s$  に対して単調減少すると仮定する。本稿では、カーブ進入時にドライバーが抱く危険感を明示的に考慮することにして、 $u_2(\bar{v}_s | \hat{v}_s, \lambda)$  に対して危険回避的な効用構造を仮定する。例えば、ドライバーは、カーブ進入時の速度  $\bar{v}_s$  が、40km/hか60km/hか知覚できないような状況と、50km/hと知覚できるような状況のどちら

を愛好するか考える。後者の状況を選択する危険回避的ドライバーの効用構造は、期待効用よりも期待速度の効用のほうが高くなる。このとき、 $u_2(\bar{v}_s | \hat{v}_s, \lambda)$ の構造は、 $du_2/d\bar{v}_s < 0$ 、かつ $d^2u_2/d(\bar{v}_s)^2 < 0$ を満たす。 $\lambda$ は危険感を表すパラメータで、 $\lambda > 0$ である。

### 3. 潜在的事故発生確率の推定モデルの構築

#### (1) 潜在的事故発生確率の定式化

本稿では、図-2に示したように、 $\hat{v}_o - \bar{v}_o < 0$ となる事故リスク、および $\hat{v}_o - \hat{v}_s < 0$ となる潜在的事故リスクを考える。このとき、潜在的事故発生確率 $P_A$ は、少なくとも $\hat{v}_o < \bar{v}_o$ と $\hat{v}_o < \hat{v}_s$ のどちらかが生じる確率として、次式で表される(図-3)。

$$P_A = 1 - (1 - \Pr[\hat{v}_o < \bar{v}_o | \bar{v}_s]) \times (1 - \Pr[\hat{v}_o < \hat{v}_s | \bar{v}_s]) \quad (3)$$

ここで、 $\Pr[\hat{v}_o < \bar{v}_o | \bar{v}_s]$ は、カーブ曲率から決まる安全上限速度 $\hat{v}_o$ をカーブ進入速度 $\bar{v}_o$ が超過してしまい、車線逸脱等の事故が発生する確率を表す。ただし、 $\bar{v}_o$ は $\bar{v}_s$ の条件付きであり、 $\bar{v}_o$ は、 $\bar{v}_s$ と $\bar{v}_o$ の関係を表す速度知覚構造 $\varphi$ から求まる。 $\Pr[\hat{v}_o < \hat{v}_s | \bar{v}_s]$ は、カーブ曲率から決まる安全上限速度 $\hat{v}_o$ をドライバーが抱く安全上限速度 $\hat{v}_s$ が超過してしまい、 $\hat{v}_o < \bar{v}_o$ のように直ちに事故につながることはないが、潜在的にカーブ通過時に事故が発生する危険度を表す。ただし、 $\hat{v}_s$ は $\bar{v}_s$ の条件付きであり、図-1に示したように、カーブ進入前にドライバーが予想することになる $\hat{v}_s$ は、カーブ進入時にドライバーが知覚する $\bar{v}_s$ によってベイズ更新されることになる。

$\Pr[\hat{v}_o < \bar{v}_o | \bar{v}_s]$ と $\Pr[\hat{v}_o < \hat{v}_s | \bar{v}_s]$ は、各々、 $\hat{v}_o$ を臨界値とする危険率を意味するので、次式で表す。

$$\Pr[\hat{v}_o < \bar{v}_o | \bar{v}_s] = \Phi \left[ \frac{\hat{v}_o - \mu(\bar{v}_o | \bar{v}_s)}{\sigma(\bar{v}_o | \bar{v}_s)} \right] \quad (4)$$

$$\Pr[\hat{v}_o < \hat{v}_s | \bar{v}_s] = \Phi \left[ \frac{\hat{v}_o - \mu(\hat{v}_s | \bar{v}_s)}{\sigma(\hat{v}_s | \bar{v}_s)} \right] \quad (5)$$

ただし、 $\Phi$ は、標準正規分布の累積分布関数を表す。ここで、 $\mu(\bar{v}_o | \bar{v}_s)$ および $\mu(\hat{v}_s | \bar{v}_s)$ は、各々、 $\bar{v}_s$ から求まる $\bar{v}_o$ および $\hat{v}_s$ の速度分布の期待値を表し、 $\sigma(\bar{v}_o | \bar{v}_s)$ および $\sigma(\hat{v}_s | \bar{v}_s)$ は、標準偏差を表す。

	$\Pr[\hat{v}_o < \hat{v}_s   \bar{v}_s]$	$1 - \Pr[\hat{v}_o < \hat{v}_s   \bar{v}_s]$
$\Pr[\hat{v}_o < \bar{v}_o   \bar{v}_s]$		
$1 - \Pr[\hat{v}_o < \bar{v}_o   \bar{v}_s]$		

図-3 潜在的事故発生確率の考え方

一般に、自動車の実速度分布は、速度が非負なので、対数正規分布に従うと仮定することが多い。牧下<sup>9)</sup>は、都内で発生した前方不注意事故を対象に、ドライバーが危険を認知したときの速度を調べている。これを見ると、著者らの見る限り、危険認知速度分布は対数正規分布で近似してもよいと考える。そこで、本稿では、 $\bar{v}_o$ および $\hat{v}_s$ の分布は、対数正規分布に従うものと仮定する。

すると、 $\mu(\bar{v}_o | \bar{v}_s)$ 、 $\sigma(\bar{v}_o | \bar{v}_s)$ は、対数正規分布の期待値、標準偏差として、次式で表される。

$$\mu(\bar{v}_o | \bar{v}_s) = \exp[\mu_{\bar{v}_o} + \sigma_{\bar{v}_o}^2 / 2] \quad (6)$$

$$\sigma(\bar{v}_o | \bar{v}_s) = \sqrt{\exp[2\mu_{\bar{v}_o} + \sigma_{\bar{v}_o}^2] \{ \exp[\sigma_{\bar{v}_o}^2] - 1 \}} \quad (7)$$

ただし、 $\mu_{\bar{v}_o}$ 、 $\sigma_{\bar{v}_o}$ は、各々、 $\ln \bar{v}_o$ の正規分布の期待値と標準偏差を表す。 $\bar{v}_o$ は、観測データから得る。

一方、 $\mu(\hat{v}_s | \bar{v}_s)$ 、 $\sigma(\hat{v}_s | \bar{v}_s)$ を求めるのは、複雑となる。まず、 $\bar{v}_s$ と $\bar{v}_o$ の関係を表す速度知覚構造 $\varphi$ が既知と仮定するならば、 $\bar{v}_o$ と $\varphi$ より、 $\bar{v}_s$ が求まる。この $\bar{v}_s$ の選択確率 $\Pr[\bar{v}_s]$ は、 $\hat{v}_s$ の条件付き確率 $\Pr[\bar{v}_s | \hat{v}_s]$ から求まる。そのとき、 $\Pr[\bar{v}_s | \hat{v}_s]$ の尤度 $f(\hat{v}_s | \bar{v}_s)$ をもとに、ベイズ更新から $\mu(\hat{v}_s | \bar{v}_s)$ が求まることになる。尤度 $f(\hat{v}_s | \bar{v}_s)$ を求める際に、安全性と速達性に関する速度効用を仮定するとき、尤度関数 $f(\hat{v}_s | \bar{v}_s)$ が複雑となる。従って、 $\sigma(\hat{v}_s | \bar{v}_s)$ を求めるには、リサンプリング・アルゴリズムを用いた数値計算に頼らざるを得ないことになる。

以下、 $\mu(\hat{v}_s | \bar{v}_s)$ を推定するため、速度知覚構造 $\varphi$ のモデル化、選択確率 $\Pr[\bar{v}_s]$ のモデル化をおこなう。

#### (2) 速度知覚構造のモデル化

式(1)で定義したドライバーの速度知覚構造 $\varphi$ について、著者らは、次式を提案している<sup>7)</sup>。

$$\frac{\bar{v}_o^{t+1}}{\bar{v}_o^t} = c_{t+1} \left( \frac{\bar{v}_s^{t+1}}{\bar{v}_s^t} \right)^{\beta(\alpha_{t+1})} + \xi_{t+1} \quad (8)$$

ここで、 $\bar{v}_o$ と $\bar{v}_s$ の添字 $t$ は、ドライバーがカーブ進入速度を知覚する時点を表す。誤差項 $\xi_{t+1}$ は、式(1)における視覚情報の他の要因 $E$ 、 $\zeta$ の影響を表す。 $\beta$ は、視覚的な速度感の感度 $\alpha_{t+1}$ に依存するパラメータである。ドライバーの速度知覚では、 $0 < \beta(\alpha_{t+1}) < 1$ となる<sup>7)</sup>。これは、過小対応 (undermatching)<sup>10)</sup>と呼ばれる現象であり、加速時(減速時)には思ったよりも実際は加速(減速)していないというものである。

$\bar{v}_s$ と $\bar{v}_o$ のデータを得ることで、式(8)のパラメータ $c_{t+1}$ 、 $\beta(\alpha_{t+1})$ は推定可能である。ただし、本稿では、 $\bar{v}_o$ の観測データから $\bar{v}_s$ を推計するため、 $c_{t+1}$ と $\beta(\alpha_{t+1})$ 、および $\xi_{t+1}$ の分布を既知と仮定する。

### (3) ランダム速度効用のモデル化

式(2)で定義した、安全性と速達性に関する速度効用関数として、次式を仮定する (図-4)。

$$U(\bar{v}_S | \hat{v}_S, \gamma, \lambda) = \gamma \bar{v}_S + \exp[\lambda] - \exp[\lambda(\bar{v}_S | \hat{v}_S)] \quad (9)$$

式(9)は、 $\hat{v}_S$ の条件付き単峰型凹関数となる。つまり、 $\bar{v}_S < \hat{v}_S$ では、 $\bar{v}_S$ に関して単調増加となる。一方、 $\bar{v}_S > \hat{v}_S$ では、 $\bar{v}_S$ に関して単調減少となり、減少の度合いは危険感のパラメータ $\lambda$ に依存する。式(9)の右辺第2項と第3項は、安全性に関する部分効用を表す。第2項は、 $\exp[\lambda]$ は、 $\bar{v}_S$ がゼロのときの安全効用水準であり、 $\lambda$ から決まる。この安全性の部分効用の危険回避度は、 $\lambda/\hat{v}_S$ となり、 $\hat{v}_S$ の条件付きで一定となる。

本稿では、式(9)の速度効用を仮定し、 $\bar{v}_S$ の選択確率 $\Pr[\bar{v}_S]$ を求めるため、次式に示すようなランダム速度効用モデルを仮定する。

$$U(\bar{v}_{Si} | \hat{v}_{Sk}, \gamma_k, \lambda_k) = \gamma_k \bar{v}_{Si} + \exp[\lambda_k] - \exp[\lambda_k(\bar{v}_{Si} | \hat{v}_{Sk})] + \varepsilon_{ik} \quad (10)$$

ここで、 $\hat{v}_S$ 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(10)のパラメータ $\gamma_k$ と $\lambda_k$ 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。

本稿では、速度知覚構造 $\varphi$ を既知と仮定し、 $\bar{v}_O$ の観測データから $\bar{v}_S$ を推計する。 $\bar{v}_O$ は速度計などから得た実速度であるため、 $\bar{v}_S$ は“細かい”値となる。しかし、現実には、 $\bar{v}_O$ の精度に比べて、 $\bar{v}_S$ の精度は“粗い”ので、例えば十の位のオーダー程度に丸めるであろう。そこで、式(10)の誤差項 $\varepsilon_{ik}$ の含意は、次のように考える。すなわち、ドライバーは、 $\bar{v}_S$ の選択肢として、例えば70km/hと80km/hがある場合、速度知覚構造 $\varphi$ から得た値が75km/hであれば、70km/hに丸めることもあれば80km/hに丸めることもある。 $\varepsilon_{ik}$ は、こうした誤差を表すと考え、 $\varepsilon_{ik}$ はガンベル分布に従うと仮定する。

### (4) 知覚速度の離散選択モデル

著者らは、別稿<sup>11)</sup>で、式(8)の速度知覚構造モデルの妥当性について、ドライビング・シミュレータで検証

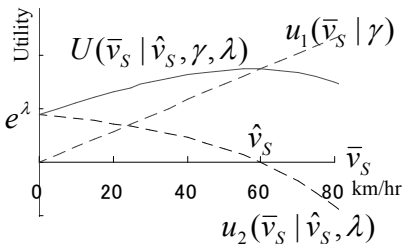


図-4 速度効用関数

した。その際、式(8)の過小対応の構造を確認する中で、ドライバーが抱く「速度評定のモノサシ」が、加速時と減速時で異なる可能性を指摘した。すなわち、加速とは、アクセルペダルを踏み込む動作なのに対し、減速とは、ブレーキペダルを調整する動作であることを勘案すると、減速時には離散的な速度評定を行っている可能性が考えられる。この点について未だ確証は得られていないが、本稿では、この前提に立って、式(10)のランダム速度効用モデルをもとに、 $\bar{v}_S$ の離散選択モデルを構築する。

今、式(10)の速度効用関数 $U(\bar{v}_{Si} | \hat{v}_{Sk}, \gamma_k, \lambda_k)$ を特定化し、 $\Pr[\bar{v}_S]$ を求めるために、次式に示すような潜在クラス・ロジットモデルを仮定する。

$$\Pr[\bar{v}_{Si}] = \sum_{k=1}^K \Pr[\bar{v}_{Si} | \hat{v}_{Sk}] \hat{\pi}_k = \sum_{k=1}^K \frac{\exp[U(\bar{v}_{Si} | \hat{v}_{Sk}, \gamma_k, \lambda_k)]}{\sum_{j=1}^J \exp[U(\bar{v}_{Sj} | \hat{v}_{Sk}, \gamma_k, \lambda_k)]} \hat{\pi}_k \quad (11a)$$

$$\sum_{k=1}^K \hat{\pi}_k = 1 \quad (11b)$$

ここで、 $\hat{\pi}_k$ は、 $\hat{v}_{Sk}$ の潜在クラス $k$ への帰属確率を表す。式(11a)(11b)を同時推計するため、次式で示すような対数尤度関数を定義する。

$$\ln \ell = \ln \sum_{k=1}^K \hat{\pi}_k \left\{ \prod_{i=1}^J \Pr[\bar{v}_{Si} | \hat{v}_{Sk}]^{\delta_i} \right\} \quad (12)$$

$\hat{v}_{Sk}$ のもとで $\bar{v}_{Si}$ を選んだときには $\delta_i = 1$ 、選ばなければ $\delta_i = 0$ とする。式(12)の対数尤度関数を最大化することで、潜在クラス $k$ ごとに速度効用のパラメータ $\gamma_k$ 、 $\lambda_k$ が特定化されると同時に、 $\hat{\pi}_k$ が推計されることになる。ただし、一般に、式(12)の $\gamma_k$ 、 $\lambda_k$ 、 $\hat{\pi}_k$ を同時に求め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 $\gamma_k$ 、 $\lambda_k$ 、 $\hat{\pi}_k$ を推計する。すべての $\hat{v}_{Sk}$ に対して、 $\bar{v}_{Si}$ のデータが完全にあるとは必ずしも限らない。そこで、 $\delta_i$ の代わりに、すべての $\hat{v}_{Sk}$ への帰属を前提とした潜在変数 $z_k$ を導入すると、期待対数尤度 $E[\ln \ell]$ を求めるEステップと、 $E[\ln \ell]$ の最大化を行うMステップを交互に行うことで、パラメータ $\gamma_k$ 、 $\lambda_k$ と帰属確率 $\hat{\pi}_k$ が交互に最適探索される。

EMアルゴリズムで推計した $\hat{\pi}_k$ は、 $\bar{v}_{Si}$ のデータを獲得する以前の事前確率である。式(11a)から、 $\bar{v}_{Si}$ のデータの履歴 $y_i$ に基づく尤度 $f(y_i | \gamma_k, \lambda_k)$ 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 $\mu(\hat{v}_{Sk} | \bar{v}_S)$ を得ることができる。

$$\mu(\hat{v}_{Sk} | \bar{v}_S) = \frac{f(y_i | \gamma_k, \lambda_k) \pi_k}{\sum_{k=1}^K f(y_i | \gamma_k, \lambda_k) \pi_k} \quad (13a)$$

$$f(y_i | \gamma_k, \lambda_k) = \prod_{i=1}^J p(\bar{v}_{Si} | \hat{v}_{Sk}, \gamma_k, \lambda_k)^{y_i} \quad (13b)$$

$$\mu(\hat{v}_S | \bar{v}_S) = \sum_{k=1}^K \hat{v}_{Sk} \mu(\hat{v}_{Sk} | \bar{v}_S) \quad (13c)$$

$\sigma(\hat{v}_S | \bar{v}_S)$  は、ブートストラップ推定量として数値計算から求めることにする。 $\bar{v}_S = \{\bar{v}_{Si}\}_{i=1}^J$  のデータから重複を許して  $J$  個のデータを取り出し、このリサンプリング・データを元に潜在クラス・ロジットモデルを推計して、 $\mu(\hat{v}_S | \bar{v}_S)$  を求める。この手続きを繰り返して、 $\mu(\hat{v}_S | \bar{v}_S)$  に対する標準偏差  $\sigma(\hat{v}_S | \bar{v}_S)$  を求めるものとする。

#### 4. おわりに

本稿では、カーブ進入時のドライバーが抱くカーブ通過時の安全上限速度およびカーブ進入速度に関する速度認識構造を考慮した潜在的事故発生確率の推定モデルを構築した。

この推定モデルの特徴には、以下の点が挙げられる。

- ① 実速度の超過による事故リスクのみならず、主観的な安全上限速度の超過による潜在的な事故リスクを考慮している。これによって、今は必ずしも顕在化していないが、潜在的に事故の危険度が高い箇所の事故発生確率が推定できる。
- ② 事故発生確率の推定モデルに、ドライバーの速度認識構造を組み込んでいる。これによって、速度認識エラーを未然に防ぐような速度マネジメント等の予防安全対策を実施した場合、ドライバーの速度認識構造に作用する程度に応じて、どれくらいの潜在的事故発生確率を小さくできるか定量的に分析可能となる。

上記の点を数値実験で検証したが、その結果については講演時に発表したい。

#### 参考文献

- 1) 日本学会議，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：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) 鈴木健太，萩原亨，加賀屋誠一，大沼秀次：道路環境ファクターを考慮したカーブ発見時の認知特性に関する研究，土木計画学研究・論文集，No.17，No.2，pp.1001-1011，2000.
- 4) Wilde, G.J.S. : The Theory of Risk Homeostasis: Implications for Safety and Health , Risk Analysis, Vol.2, No.4, pp.209-225, 1982.
- 5) Summala, H. : Risk Control Is Not Risk Adjustment: The Zero-Risk Theory of Driver Behaviour and its Implications, Ergonomics, Vol.31, No.4, pp.491-506, 1988.
- 6) Vaa, T. : Cognition and Emotion in Driver Behaviour Models: Some Critical Viewpoints, Proceedings of ICTCT Workshop, pp.48-59, 2001.
- 7) 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，（投稿中）
- 8) 例えば，Gibson, J.J. : The Visual System: Environmental Information , In : The Senses Considered as Perceptual Systems, pp.186-223, Houghton Mifflin, 1966.
- 9) 牧下寛：安全運転の科学，第9章 危険認知時の速度と車間距離，pp.145-157，九州大学出版会，2006.
- 10) Baum, W.M. : Matching, Undermatching, and Overmatching in Studies of Choice, Journal of the Experimental Analysis of Behavior, Vol.32, No.1, pp.269-281, 1979.
- 11) 四辻裕文，喜多秀行：ドライビング・シミュレータによる速度知覚モデルの検証，第29回交通工学研究発表会，（投稿中）
- 12) 阿部誠，近藤文代：マーケティングの科学，POSデータの解析，第8章 消費者の異質性，pp.141-171，朝倉書店，2005.