

プローブデータを活用した地点別事故危険性の 評価精度に関する基礎的研究 ～事故件数と急減速数との相対性についての一 考察～

稲垣 亮¹・松尾 幸二郎²・杉木 直³

¹ 学生会員 豊橋技術科学大学大学院 工学研究科 建築・都市システム学専攻 (〒160-0004 東京都新宿区四谷一丁目無番地)

E-mail:ingaki.ryo.jv@tut.jp

² 正会員 豊橋技術科学大学 工学部 建築・都市システム学系 (〒441-8580 愛知県豊橋市雲雀ヶ丘 1-1 豊橋技術科学大学)

E-mail:k-matsuo@ace.tut.ac.jp

³ 正会員 豊橋技術科学大学 工学部 建築・都市システム学系 (〒441-8580 愛知県豊橋市雲雀ヶ丘 1-1 豊橋技術科学大学)

E-mail:sugiki.nao.na@tut.ac.jp

近年、自動車プローブデータを活用した生活道路の地点別事故危険性評価の試みが盛んとなっている。しかし、プローブデータ活用による地点別事故危険性評価の精度向上効果についての理論的考察は十分には行われていない。そこで本研究では、出合頭事故危険性評価理論モデルを構築し、理論上の事故危険性の算出、および確率試行による事故データ、プローブデータ（急減速数）の生成、理論上事故危険性と生成された各データを用いた推定事故危険性との比較を行った。その結果、本理論モデルの枠組みにおいては、一般に期待される「事故発生頻度に対して急減速発生頻度が十分に高い」という現象が生じなかった。これを踏まえ、本理論モデルにおけるパラメータの感度分析などにより事故件数と急減速数の相対性について考察を行った。

Key Words: プローブデータ, 事故危険性評価, 出合頭事故, 急減速, 確率試行

1. 研究背景

我が国の交通事故による死者数は減少傾向にあるが、生活道路での交通死亡事故は生活道路以外と比べて減少割合が小さい¹⁾。生活道路での事故を減らすためには、交差点ごとの自動車交通量などの交通実態や事故件数などから事故危険性を定量的に評価し、事故対策を行うことが重要である。しかし、交通調査データが乏しい生活道路では交通実態の把握が難しく、過去の事故発生状況や市民の意見などを基に事故対策を実施することが多い現状である。予防的な事故対策のためには交通実態の定量的な把握が必要不可欠である。

そこで近年は、自動車搭載機器から収集される位置情報に基づくプローブデータの活用により、生活道路の交通実態の把握が可能となり、地点別の事故危険性評価の試みが盛んとなっている。しかし、事故危険性把握へのプローブデータ活用の効果についての理論的考察は十分

には行われていない。

各種データによって推定する事故危険性には実現象を完全にモデル化できないことに起因する認識論的不確定性と現象のランダムさに起因する偶然的な不確定性²⁾を含む。プローブデータから得た交通量や走行速度などで交通実態を考慮することで認識論的不確定性を低減できるとともに、急減速数を使うことで稀事象である事故発生の偶然的な不確定性を低減できる可能性も考えられる。例えば、交通事故と急減速挙動の発生頻度の相対性を説明する際に、昔から労働分野の用語である「ハインリッヒの法則」がよく用いられる³⁾。これは 1 件の重傷災害がある背景には 29 件の軽傷災害と 300 件の無傷害災害があり、さらに無数の不安全行動と不安全状態があると言うものである。「事故発生頻度に対して急減速発生頻度が十分に高い」という考えのもと、プローブデータから得られた急減速挙動で交通実態を説明する試みが盛んに行われている。一方で、プローブデータを取得できる機器

を搭載した車両の割合（以後、プローブ普及率）によってはデータのばらつきが増加に繋がり、偶然的な不確実性が増加する可能性がある。一般的に用いられているプローブ普及率はそれ程高くなく、「プローブデータを活用することにより地点別事故危険性評価の精度がどの程度向上するのか」については検証が必要だろう。

以上を踏まえ、本研究ではプローブデータ活用による地点別事故危険性評価の精度向上効果を理論的に分析することを試みる。

2. 既往研究

福井ら⁴⁾は、民間プローブカーの走行距離データを用いて事故リスクを定義し、事故類型別にモデル構築することで、事故リスクの要因を明らかにしている。また、プローブカーから得られた「0.3G以上の減速挙動」を急減速挙動と定義し、その発生回数から急減速リスクを定義している。交通事故を表現する潜在的指標として定義した急減速リスクを活用し、交通事故を引き起こす要因の一部と考えて説明変数として用いている。その結果、急減速挙を用いて事故リスクの説明力が向上する可能性が示している。しかし、プローブデータを用いることによる事故リスクの推定精度への影響についての理論的な考察はなされていない。

松尾ら⁵⁾は、細街路の無信号交差点において不注意な非優先側車両が進入する場合を想定し、優先側車両と非優先側車両の初期速度、初期位置と交差点形状などから出合頭事故が発生するか否かを判定する理論モデルを提案している。しかし、理論モデルにおいて車両挙動を単純化のために車両を点として扱っている。

また、著者ら⁶⁾は松尾らの提案した事故危険性評価理論モデルを応用し、車両を点ではなく長さや幅を与えたうえで、理論上事故危険性の算出、および確率試行による事故データ、プローブデータ（通過量、急減速数）の生成を行った。そして、理論上事故危険性と、生成された各データによる推定事故危険性との順位相関係数により比較を行うことで、プローブデータ活用による地点別事故危険性推定の精度向上効果を評価した。その結果、プローブ通過量活用による危険性推定精度の向上が確認できた。一方、本理論モデルの枠組みにおいては、一般に期待される「事故発生頻度に対して急減速発生頻度が十分に高い」という現象が生じず、急減速数活用による効果がほとんど見られない結果となり、「ハインリッヒの法則」で説明されるような交通事故と急減速挙動の発生頻度の相対性と異なるものとなった。

以上を踏まえ、本研究では本理論モデルにおける事故件数と急減速数の相対性に着目し、プローブデータによ

る地点別事故危険性の推定を行う際に、モデルの単純化などの影響を考慮することで、急減速数活用による効果が期待できるほどの急減速数が取得できるのか検証する。なお、急減速挙動は既往研究³⁾を参考に「0.3G以上の減速挙動」とする。

3. 研究手法

まず、著者らの以前の研究と同様に理論上事故危険性の算出およびデータの生成を行う。モデル内の事故判定や急減速判定においては単純化の影響によって、実際にはハンドル操作による事故回避ができるような状況においても事故発生と判定されており、急減速せずに片方の車両が衝突せずに通過できる場合にどんなに危険な状況でも急減速が発生していないと判定されている。そこで、モデルの単純化の影響を考えるためにコンフリクト指標による生成データの評価を行う。そして、パラメータを変化させた場合に事故件数と急減速数の相対性が変化するかどうか検証し考察を行う。

(1) 事故危険性評価理論モデル

図-1に示す細街路無信号交差点を想定し、見通しの程度を考慮した自動車対自転車の出合頭事故危険性を算出するための理論モデルを構築した。優先側（自動車）、非優先側（自転車）ともに一方通行とし、追従走行による影響は無視した。まず非優先側車両の軌跡上に基準位置 d_2^0 を設定し、「不注意な（一時停止をしない）」自転車が基準位置 d_2^0 に到達した時点（初期時点（ $t = 0$ ））とした。基準位置は「本研究で対象とするような細街路における代表的な非優先側車両がその位置から減速を始めた場合に、衝突範囲までに停止できる位置」と定義した。

そして、以下の「出合頭事故が発生しない3条件」の余事象を出合頭事故発生条件として定義した。

①位置関係のみの条件： 初期時点（ $t = 0$ ）で、非優先側車両から優先側を視認できる限界位置 d_1^{0*} よりも優先側車両が衝突範囲側にいる場合。

$$d_1^0 < d_1^{0*} \quad (1)$$

②速度関係のみの条件： 条件①を満たさないが、非優先側車両（優先側車両）が衝突範囲に到着する前に、優先側車両（非優先側車両）が初期速度 v_1^0 （ v_2^0 ）のまま通過できる場合。

$$\frac{d_1^0 - s_2 + \frac{w_2}{2} + l_1}{v_1^0} < \frac{d_2^0 + s_1 - \frac{w_1}{2}}{v_2^0} \quad (2)$$

$$\frac{d_1^0 - s_2 - \frac{w_2}{2}}{v_1^0} > \frac{d_2^0 + s_1 + \frac{w_1}{2} + l_2}{v_2^0} \quad (3)$$

③減速を考慮した条件： 条件①, 条件②を満たさないが, 相互に視認可能となる位置 d_1^* , d_2^* まで初期速度 v_1^0 , v_2^0 のまま進んだ後 (時点 $t = t^*$), 優先側車両または非優先側車両が停止可能な場合.

$$d_1^0 - s_2 - \frac{w_2}{2} - v_1^0 \cdot t^* > v_1^0 \cdot t_r + \frac{(v_1^0)^2}{2\alpha_1} \quad (4)$$

$$d_2^0 + s_1 - \frac{w_1}{2} - v_2^0 \cdot t^* > v_2^0 \cdot t_r + \frac{(v_2^0)^2}{2\alpha_2} \quad (5)$$

ここで, t_r は空走時間, α_1, α_2 は優先側, 非優先側車両の最大減速度である. また, ちょうど衝突範囲直前で停止するために必要な減速度 (必要減速度) の大きさは, 両辺を等しいとして整理すると下式で表せる.

$$\alpha_1 = \frac{(v_1^0)^2}{2\{d_1^0 - s_2 - \frac{w_2}{2} - v_1^0(t^* + t_r)\}} \quad (6)$$

$$\alpha_2 = \frac{(v_2^0)^2}{2\{d_2^0 + s_1 - \frac{w_1}{2} - v_2^0(t^* + t_r)\}} \quad (7)$$

時点 t^* は相互に視認可能な位置における位置関係より三角形の相似則を用いて算出した.

$$t^* = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 + 4C}}{2} \quad (8)$$

$$B = \frac{1}{v_1^0 v_2^0} \left(\frac{v_1^0 r_1 + v_2^0 r_2}{2} - v_1^0 d_2^0 + v_2^0 d_1^0 + v_1^0 b_1 + v_2^0 b_2 \right) \quad (9)$$

$$C = \frac{1}{v_1^0 v_2^0} \left(\frac{d_1^0 r_1 + d_2^0 r_2}{2} - d_1^0 d_2^0 + d_1^0 b_1 + d_2^0 b_2 \right) \quad (10)$$

優先側車両の初期速度 v_1^0 は平均初期速度 \bar{v}_1^0 の正規分布に従うと仮定した. 生活道路の無信号交差点に進入する車両を想定するため, 初期速度 v_1^0 が現実的な状況 ($v_1^0 = 10 \sim 80 \text{km/h}$)となるよう, 確率密度関数を下式の通りに設定した. また, 松尾らが提案したモデルと同様に過去の調査結果に基づき変動係数を 0.2 として, 標準偏差 σ を設定した.

$$f(v_1^0) = \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(v_1^0 - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)}{\left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(80 - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(10 - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \right\}} \quad (11)$$

$$(10 \leq v_1^0 \leq 80), \mu = \bar{v}_1^0, \sigma = 0.2\bar{v}_1^0$$

初期位置 d_1^0 は平均初期速度 \bar{v}_1^0 と交通量 q_1 からなる指数分布に従うと仮定し, 下式の確率密度関数を設定した.

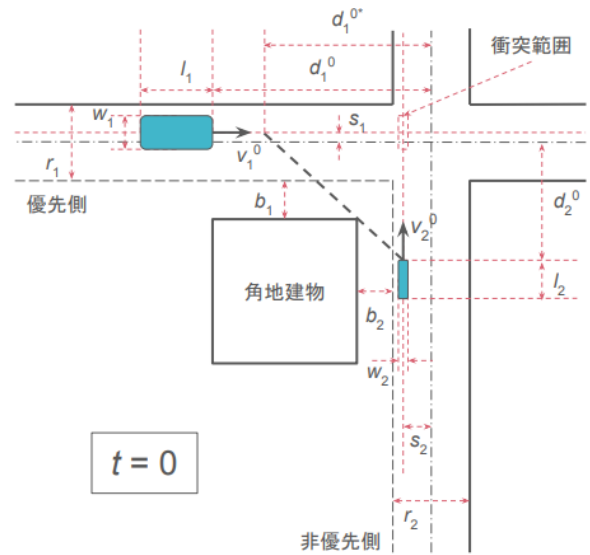


図-1 対象とする交差点形状

$$f(d_1^0) = \lambda e^{-\lambda d_1^0} \quad (12)$$

$$\lambda = \frac{q_1}{\bar{v}_1^0}$$

(2) 数値積分による理論上事故危険性の算出

本研究では, まず確率変数部分 (初期位置 d_1^0 , 初期速度 v_1^0) の数値積分によって理論上の事故の危険性 (年間事故件数期待値) を算出した. また, 優先側車両の必要減速度が急減速閾値 (0.3G) を超える年間回数の期待値 (年間急減速数期待値) についても算出し, 年間事故件数期待値と年間急減速数期待値の差を急減速を用いて停止できる回数の期待値として年間急減速停止数期待値と定義し算出した. その際, 異なる交差点*i*として, 自動車交通量 q_{1i} を 10, 20, ..., 500 (台/h) の 50 パターン, 不注意な自転車の交通量 q_{2i} を 1, 2, ..., 20 (台/年) の 20 パターンの組み合わせで, 合計 1,000 交差点を作成した. 交通量以外の設定した各種パラメータを表-1 に示す.

(3) 確率試行による事故件数・急減速数データの作成

事故件数データは, 乱数を用いて式(11), 式(12)に示す確率分布から交差点*i*別に初期速度 v_{1i}^0 と初期位置 d_{1i}^0 を作成し, 理論モデルから事故の発生を判定することで, 年間発生回数をカウントした. その際, 優先側車両の必要減速度が急減速閾値 (0.3G) を超えた年間回数を急減速数としてカウントした.

(4) コンフリクト指標による評価

本研究では, 2 種類のコンフリクト指標を用いて生成したデータの評価を行う. 生成したデータのうち, 事故判定になったデータおよび優先側車両の減速挙動によ

て事故を回避したデータにおいて、減速挙動を行わなかった場合に優先側、非優先側の車両が衝突範囲に到達したであろう時間の時間差を仮想 PET（減速挙動を行わなかった場合の PET）として定義し算出した³⁾。時間差が小さいほど、減速挙動を行わなかった場合に片方の車両が衝突範囲に到着してからもう片方の車両が衝突範囲に到着するまでの間隔が短いことを表しており、事故に近いことを表す。

また、急減速閾値（0.3G）で減速挙動を行った際に衝突範囲の手前より何m手前もしくは奥で停止できるかについても 0.3G 停止位置と定義し算出した。

表-1 設定したパラメータ

固定パラメータ	優先側（自動車）	非優先側（不注意な自転車）
空走時間 t_f (s)	0.8	0.8
平均初期速度 \bar{v}^0 (km/h)	30	
初期速度 v^0 (km/h)		10
基準位置 d_0^2 (m)		5
車両長 l (m)	4	2
車両幅 w (m)	2	1
道路幅員 r (m)	6	6
車両位置 s (m)	0	2
建物位置 b (m)	0.5	0.5
最大減速度 α (m/s ²)	0.5G	0.3G

(5) 異なるパラメータによる感度分析

表-1 に示した優先側車両の最大減速度 α_1 を 0.5G から 0.7G, 1.0G に変化させた場合、優先側車両の平均初期速度 \bar{v}_1^0 を 30km から 20km, 40km に変化させた場合、優先側・非優先側ともに建物位置を 0.5m から 0m, 1.0m に変化させた場合の年間急減速停止数期待値を算出した。なお、建物位置は道路の側端からの建物の位置を表しており、建物位置が大きいほど交差点の見通しが良くなる。

4. 結果

(1) 年間急減速停止数期待値

表-1 に示したパラメータを設定して算出した年間急減速停止数期待値を図-2 に示す。

年間急減速停止数期待値は、年間事故件数期待値の約 0.6 倍となり、年間急減速停止数期待値は年間事故件数期待値よりも少なくなった。

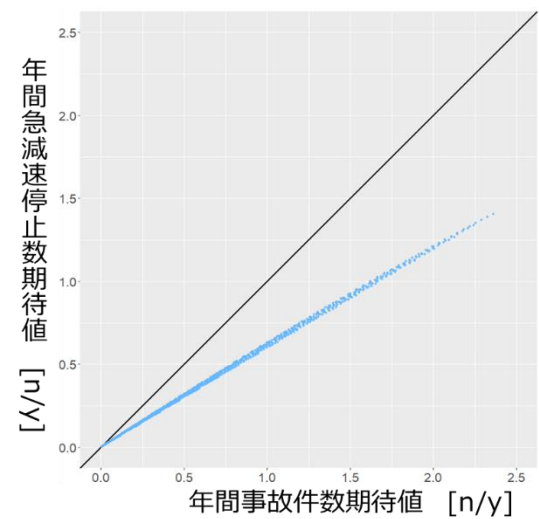


図-2 年間急減速停止数期待値

(2) コンフリクト指標による評価

生成したデータ（10500 件）のうち、事故と判定されたデータおよび優先側車両の減速挙動によって事故を回避したデータ（9554 件）において、事故と判定されたデータ（事故発生：681 件）、事故と判定されていないが急減速発生と判定されたデータ（急減速発生あり：381 件）、事故と判定されていないかつ急減速発生と判定されていないデータ（急減速発生なし：8492 件）に分類したうえで、仮想 PET の分布を-0.5s から 2.0s までの範囲で図-3 に示す。仮想 PET の分布の範囲が事故発生と被っている急減速発生なしのデータ（0.3s から 1.0s までの範囲のデータ）は 14 件であった。

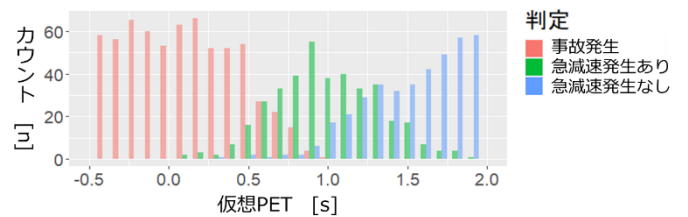


図-3 衝突範囲到達時間差

同様に分類したうえで、0.3G 停止位置の分布を-30m から 10m の範囲で図-4 に示す。減速度 0.3G で減速挙動を行った場合に衝突範囲の 5m 手前以内で停止する急減速発生なしのデータは 348 件であった。

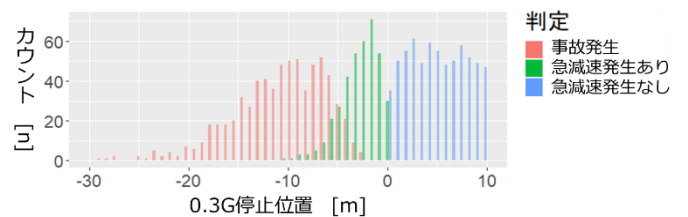


図-4 0.3G 停止位置

(3) 異なるパラメータによる相対性の変化

最大減速度を変化させた場合の年間事故件数期待値に対する年間急減速停止数期待値を図-5に示す。最大減速度を大きくするほど、事故件数期待値に対する急減速停止数期待値の比率は大きくなり、最大減速度 1.0G の場合は約 1.8 倍となった。最大減速度を大きくすることで、事故が発生する確率が低下し、急減速によって事故を回避できる確率が上昇するためにこの結果となった。

平均初期速度を変化させた場合の年間事故件数期待値に対する年間急減速停止数期待値を図-6に示す。平均初期速度を小さくするほど、事故件数期待値に対する急減速停止数期待値の比率は大きくなり、平均初期速度を大きくするほど、事故件数期待値に対する急減速停止数期待値の比率は小さくなった。平均初期速度を大きくするほど、急減速停止数期待値が減少する以上に事故件数期待値が減少するためにこの結果となった。平均初期速度 15km/h の場合は約 10 倍となった。

建物位置を変化させた場合の年間事故件数期待値に対する年間急減速停止数期待値を図-7に示す。建物位置を大きくする（見通しが良くなる）ほど、事故件数期待値に対する急減速停止数期待値の比率は大きくなり、建物位置を小さくする（見通しが悪くなる）ほど、事故件数期待値に対する急減速停止数期待値の比率は小さくなった。建物位置を大きくするほど、急減速停止数期待値が減少する以上に事故件数期待値が減少するためにこの結果となった。建物位置 1.0m の場合は約 12 倍となった。

5. 考察

図-2に示すように表-1で設定したパラメータによって算出された年間急減速停止数期待値は年間事故件数期待値を下回り、一般に期待されるような「事故発生頻度に対して急減速発生頻度が十分に高い」という結果は得られなかった。また、図-3に示すように仮想 PET が「仮想 PET の分布の範囲が事故発生と被っている急減速発生なしのデータ」は 14 件、図-4に示すように「減速度 0.3G で減速挙動を行った場合に衝突範囲の 5m 手前以内で停止する急減速発生なしのデータ」は 348 件となり、モデルの単純化などを考慮することで急減速が発生する可能性があるデータは生成した急減速発生なしのデータ (8492 件) のうちのほんの一部となり、急減速発生ありのデータに加えたとしても急減速発生ありのデータが大幅に増加しない結果となった。このことから表-1で設定したパラメータでは、モデルの単純化などを考慮したとしても、プローブデータによる地点別事故危険性の推定を行う際に急減速数活用による効果がほとんど見られないという結果は変わらないと考えられる。

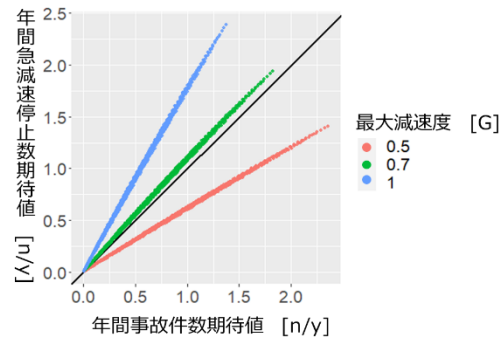


図-5 年間急減速停止数期待値 (変化：最大減速度)

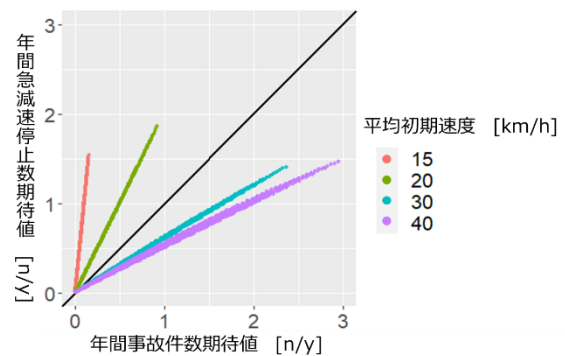


図-6 年間急減速停止数期待値 (変化：初期平均速度)

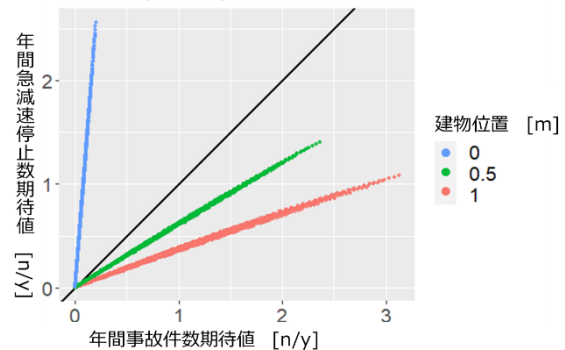


図-7 年間急減速停止数期待値 (変化：建物位置)

図-5に示すように、最大減速度を 0.5G よりも大きくした場合、事故件数期待値に対する急減速停止数期待値の比率は大きくなった。しかし、最大減速度を 1.0G と極端に大きくした場合においても、事故件数期待値に対する急減速停止数期待値の比率は約 1.8 倍までしか上昇しないため、最大減速度を大きくしたとしても、プローブデータによる地点別事故危険性の推定を行う際に急減速数活用による効果が期待できるほど急減速数は増加しないと考えられる。

図-6、図-7に示すように初期平均速度、建物位置を変化させた場合には、初期平均速度を小さくするほど、建物位置を大きくするほど事故件数期待値に対する急減速

停止数期待値の比率は大きくなった。つまり、初期平均速度、建物位置を安全な状況に設定するほどこの比率は大きくなった。また、平均初期速度 15km/h、建物位置 1.0m の場合には、この比率は大幅に上昇し、事故件数と急減速数の相対性は大きく変化した。このことから、パラメータをかなり安全な状況に寄せた場合には、「事故発生頻度に対して急減速発生頻度が十分に高い」という結果が得られると考えられる。

これらのことから、事故件数と急減速数の相対性に対してモデルの単純化による影響は小さく、パラメータの設定による影響が大きいと考えられる。また、安全な状況の交差点においては一般に期待される「事故発生頻度に対して急減速発生頻度が十分に高い」という事故件数と急減速数の相対性が見られると考えられる。しかし通常、安全な交差点ではなく危険な交差点を推定するためにプローブデータによる地点別事故危険性の推定は行われる。そのため、危険な交差点では事故発生頻度に対して急減速発生頻度が十分に高い」という事故件数と急減速数の相対性が見られないと考えられ、プローブ急減速数を危険な交差点の推定に活用することは難しいと考えられる。さらに、安全な交差点と危険な交差点が入り混じった状況においてプローブ急減速数を地点別事故危険性の推定に活用する際には、安全な交差点ほど「事故発生頻度に対して急減速発生頻度が十分に高い」という事故件数と急減速数の相対性が現れるため、安全な交差点の危険性の過大推定に繋がる可能性が考えられる。

今後は、初期平均速度や建物位置以外のパラメータを

変化させた場合に事故件数と急減速数の相対性がどう変化するのか検証していく必要がある。また、事故件数と急減速数の相対性がパラメータの変化によって変化する現象について数式を用いて理論的に解明していく必要がある。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 22K04364 および豊橋技術科学大学イノベーション協働研究プロジェクトの助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 第 11 次交通安全基本計画, 中央交通安全対策会議, 2021.
- 2) 伊藤學 (監訳), 亀田弘行 (監訳), 阿部雅人 (翻訳), 能島暢呂 (翻訳): 改訂 土木・建築のための確率・統計の基礎, 丸善, 2007.
- 3) 元田良孝: 錯綜手法に関する研究の概観, 交通工学, vol.27, 35-46, 1992.
- 4) 福井智侑, 塩見康博: プローブデータを用いた非センサリンクを対象とした事故リスク要因の分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 74 (5), I_703-I_713, 2018.
- 5) 松尾幸二郎, 廣島康裕: 細街路無信号交差点における出合い頭事故危険性評価のための理論モデルの提案, 第 9 回 ITS シンポジウム Pear-Review Proceedings, 49-54, 2010.
- 6) 稲垣亮, 松尾幸二郎, 杉木直: プローブデータ活用による地点別事故危険性評価の精度向上効果に関する基礎的研究, 第 42 回交通工学研究発表会論文集, 89-93, 2022.

(2009.7.1 受付)

A Fundamental Study on the Impact of Using Probe-data to Improve the Accuracy of Locational Accident Risk Evaluation - A Consideration of the Relativity between the Number of Accidents and the Number of Sudden Deceleration -

Ryo INAGAKI, Kojiro MATSUO and Nao SUGIKI

In recent years, many attempts have been made to use vehicle probe data to evaluate locational risk of accidents on residential roads. However, there has not been sufficient theoretical discussion of the effect of using probe data on improving the accuracy of locational accident risk assessment. In this study, we at first developed a theoretical model for evaluating the risk of head on accidents and calculated the theoretical risk of accidents. Next, accident data and probe data (number of sudden decelerations) were generated by stochastic trials, and then compared the calculated theoretical risk with the estimated risk based on each of the generated data. As a result, in the framework of this theoretical model, the phenomenon that "sufficiently high frequencies of sudden decelerations against the frequencies of accidents" which is generally expected, did not occur. Based on this result, the relativity between the number of accidents and the number of sudden deceleration in the theoretical model was discussed through sensitivity analyses with different parameters.