

# 見通しの悪い生活道路無信号交差点部の安全性評価方法の提案

## Proposal of a New Safety Evaluation Method for Non-Signalized Intersections at Residential Roads with Poor Visibility

長谷川 裕修<sup>1</sup>, 工藤 理人<sup>2</sup>, 葛西 誠<sup>3</sup>, 田村 亨<sup>4</sup>

Hironobu HASEGAWA<sup>1</sup>, Rihito KUDO<sup>2</sup>, Makoto KASAI<sup>3</sup> and Tohru TAMURA<sup>4</sup>

地域の交通安全を考えたとき、生活道路に多い見通しの悪い無信号交差点部の安全性向上が必要であるが、どのような指標で安全性を評価することが適切かについて、いまだ共通認識はない。筆者らはこれまで、交差点部周辺での接触危険性を道路幅員やドライバーの反応時間などをもとに算出した指標から評価する研究に取り組んできたが、結果の解釈性や衝突時の被害の見積などに課題があった。以上の問題意識のもと、本研究は交通分野で一般的なPET指標をもとにした新たな安全性評価方法を提案するものである。提案方法と従来方法との比較検討の結果、従来方法では安全性を過大評価している可能性を指摘するとともに、衝突危険性ととも接触時の被害に影響する車両速度も把握可能となった。

When considering regional traffic safety, improving non-signalized intersections with poor visibility is necessary, often found on residential roads in rural cities. However, there is still no common understanding of what indicators should be applied to evaluate the safety of non-signalized intersections. The authors have researched the evaluation of collision risk around intersections using indicators calculated based on road width, driver reaction time, and other factors. However, there were issues with the interpretability of the results and the estimation of damage with collision. This study proposes a new safety evaluation method based on the standard index of traffic conflict, namely PET, in the traffic engineering research fields. As a result of a comparison between the proposed method and the conventional method, it figures out that the conventional method may overestimate the safety. It is possible to understand the vehicle speed that affects the damage in the contact and the collision risk.

**Keywords:** 交通安全, 生活道路, 無信号交差点, 安全性評価, 子ども

Traffic Safety, Residential Roads, Non-signalized Intersections, Safety Evaluation, Children

### 1. はじめに

交通事故総合分析センターが公表する交通事故統計表データによると、令和元年中の交通事故死者数3215人のうち歩行者と自転車の死者数はそれぞれ1176人と433人である。これを道路形状別に見ると、歩行者と自転車どちらも交差点での死者数が最も多く、それぞれ623人と260人である。更に交差点を信号の有無で分けると、歩行者と自転車どちらも無信号交差点が約59%と半数以上

を占めている。また、自宅からの距離別に見ると、歩行者は1km以下の累計死者数が791人、自転車は同じく243人であり、特に歩行者は自宅周辺で重大事故に遭っている。以上より、生活道路の無信号交差点部における安全性向上の必要性が明らかであるが、どのような指標で安全性を評価することが適切かについて、いまだ共通認識はない。

例えば、高橋は交通事故例調査（マイクロデータ）を用

1 正会員, 博士 (工学), 秋田工業高等専門学校

Member, Dr. Eng., National Institute of Technology, Akita College

〒011-8511 秋田県秋田市飯島文京町1-1 e-mail: hasegawa@akita-nct.ac.jp Phone: 018-847-6067

2 元秋田工業高等専門学校 (令和2年度卒業)

Former National Institute of Technology, Akita College (Graduated in 2020FY)

3 正会員, 博士 (工学), 秋田工業高等専門学校

Member, Dr. Eng., National Institute of Technology, Akita College

4 正会員, 工学博士, 北海商科大学

Member, Dr. Eng., Hokkai School of Commerce

1 いて、四輪車同士の交差点での出会い頭事故<sup>1)</sup>や四輪車  
 2 と自転車との出会い頭事故<sup>2)</sup>について、認知可能距離を  
 3 基に衝突回避の可能性を検討している。この方法を援用  
 4 し、筆者らは道路幅員やドライバーの反応時間などをも  
 5 とに算出した車両側認知可能距離、停止距離、車両側余  
 6 裕距離に基づく生活道路交差点部の安全性評価を提案し  
 7 てきた<sup>3,4)</sup>。

8 一方で、これまで交通分野で交差点部の安全性評  
 9 価に一般的に用いられてきた指標にTTC指標 (Time to  
 10 collision, 衝突までの時間)とPET指標(Post encroachment  
 11 time, 行動後到達時間)とがある。TTC指標はHayward<sup>5)</sup>  
 12 によって提唱された交通コンフリクト測度で、「2台の車  
 13 両が回避行動を伴わず、その時点での角度と速度を維持  
 14 したまま進行すれば、何秒後に衝突するか」で定義され  
 15 ている。また、PET指標はAllenら<sup>6)</sup>によって提唱され、  
 16 「車両1がその時点で占有している場所を衝突の可能性  
 17 ある地点とし、車両2がその場所に到達する時間」で定  
 18 義されている。これらの指標を元にして様々な交通コン  
 19 フリクト指標が提案されてきた。若林ら<sup>7)</sup>は「先行車の  
 20 進行方向が変化しないで速度変化が生じた場合に、後続  
 21 車はその時点における速度と進行方向を維持したまま進  
 22 行すると衝突するまでにかかる時間」をPTTC指標とし  
 23 て提案した。平岡ら<sup>8)</sup>は「加減速度維持または急減速す  
 24 る先行車との衝突を回避するために必要な自車両の減速  
 25 度」として衝突回避減速度を提案している。多田ら<sup>9)</sup>は  
 26 車両の大きさと衝突形態を考慮するためにTTCを拡張し  
 27 た2次元TTCを提案している。これらは主に幹線道路や  
 28 高速道路におけるビデオ映像に基づく分析に用いられて  
 29 おり、生活道路における交差点部の安全性評価に対する  
 30 適用事例は筆者らの知る限りない。

31 以上の問題意識のもと、本研究では生活道路の無信号  
 32 交差点部における安全性の評価方法として、PET指標を  
 33 元にした新たな評価方法を導入することにより、従来の  
 34 評価方法<sup>3,4)</sup>を改良することを目的とするものである。

## 2. 研究方法

### 2.1 車両側余裕距離の定式化

37 本節では、高橋<sup>1,2)</sup>の方法論を援用して、無信号かつ  
 38 車両側に一時停止規制がなく、見通しが悪い生活道路の  
 39 交差点周辺において、歩行者および自転車の通行位置と  
 40 交差する道路を直進する車両との接触危険性との関係の  
 41 モデル化を簡単に説明する。なお、自動車と歩行者との  
 42 モデル化の詳細は2020年の論文<sup>3)</sup>を、自動車と自転車と  
 43 のモデル化の詳細は2021年の論文<sup>4)</sup>をそれぞれ参照され  
 44 たい。

45 図1に歩行者が右側歩行で、車両が右から左に走行す  
 46 る場合を例にしたモデルの模式図を示す。なお、歩行者

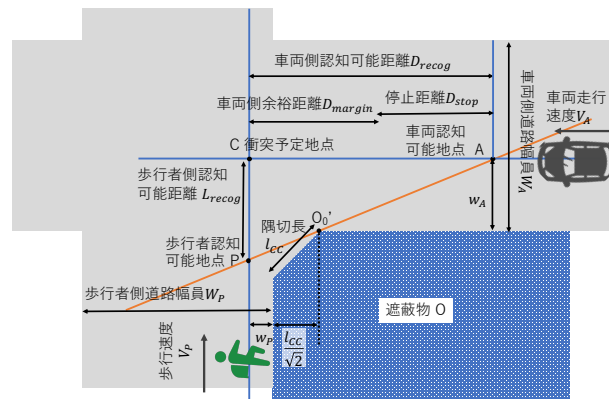


図1 事故模式図 (右歩・車左・隅切りあり)

は交通安全行動に未習熟な幼児・児童を想定して、常に  
 一定の歩行速度で直進すると仮定する。

図1において、車両がAに到達すると同時に歩行者が  
 Pに到達するものとする。隅切長 $l_{CC}$  [m]の隅切をもつ  
 遮蔽物Oの端点 $O'_0$ とAおよびPの3点が一直線上にあると  
 きに最も早く車両運転手と歩行者が相互を認知可能とな  
 る。このとき、Aを車両認知可能地点、Pを歩行者認知可  
 能地点とする。ここで、 $O'_0$ とAとの垂直距離を $w_A$  [m]、  
 $O'_0$ とPとの水平距離を $w_P + \frac{l_{CC}}{\sqrt{2}}$  [m]とする。また、歩行者  
 が $V_P$  [km/h]、車両が $V_A$  [km/h]でそのまま進んだ場合に  
 時刻 $t$  [s]において衝突する衝突予定地点CとAとの距離を  
 車両側認知可能距離 $D_{recog}$  [m]とすると、 $D_{recog}$ は次の  
 ように求められる。なお、隅切のない場合は $O'_0$ とPとの  
 水平距離が $w_P$ となるだけで、同様に定式化できる。

$$\frac{w_A}{D_{recog} - \left(w_P + \frac{l_{CC}}{\sqrt{2}}\right)} = \frac{V_P t}{V_A t}$$

$$D_{recog} = w_P + \frac{V_A}{V_P} w_A + \frac{l_{CC}}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

ここで、

$$l_{CC} = \begin{cases} l_{CC} & \text{隅切りあり} \\ 0 & \text{隅切なし} \end{cases} \quad (2)$$

一方、車両が歩行者を認識してから停止するまでに移  
 動する停止距離 $D_{stop}$  [m]は、反応時間 $t_r$  [s]、重力加速  
 度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 、縦すべり摩擦係数 $f$ として、道路構造  
 令における制動停止視距<sup>10)</sup>を援用し、式(3)で求める。

$$D_{stop} = \frac{V_A t_r}{3.6} + \frac{V_A^2}{2gf \cdot 3.6^2} \quad (3)$$

なお、式(3)中の右辺第1項はブレーキが効き始めるまで  
 の空走距離を、第2項は制動距離をそれぞれ表しており、  
 隅切の有無は停止距離に影響を与えない。

安全性を表す指標として、車両が歩行者を認識してか  
 ら停止するまでに進む距離を車両側余裕距離 $D_{margin}$  [m]

とすると、図1より

$$D_{\text{margin}} = D_{\text{recog}} - D_{\text{stop}} = w_P + \frac{V_A}{V_P} w_A + \frac{l_{CC}}{\sqrt{2}} - \frac{V_A t_r}{3.6} - \frac{V_A^2}{2gf \cdot 3.6^2} \quad (4)$$

となる。

$D_{\text{margin}} > 0\text{m}$  であれば、車両はCより手前で停止可能である。また、 $D_{\text{margin}} = 0\text{m}$  であれば、歩行者がCに到達したときにちょうど車両もCに到達して衝突する。

$D_{\text{margin}} < 0\text{m}$  であれば、歩行者がCに到達したときには車両は通り過ぎている。

以上について歩行者を自転車に読み替えれば、同様に定式化が可能である。

## 2.2 PETの定式化

先述の通り、PET指標は「車両1がその時点で占有している場所を衝突の可能性のある地点とし、車両2がその場所に到達する時間」で定義されている。これを本研究に当てはめると、PET指標は歩行者が図1のC地点に到達した後、車両がC地点に到達するまでの経過時間で求められる。なお、歩行者を自転車に読み替えれば、同様に定式化可能である。いま、車両がA地点で歩行者を認知し、反応時間  $t_r$  経過後にブレーキをかけた場合を考える。車両の質量を  $m[\text{kg}]$  とし、車両の進行方向にX軸をとって時刻  $t[\text{s}]$  における車両の位置を  $x(t)[\text{m}]$  とすれば、次の運動方程式が成り立つ。

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} = -fmg \quad (5)$$

式(5)の両辺を  $m$  で除して、式(6)に示す加速度が得られる。

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} = -fg \quad (6)$$

車両がA地点を通過した時刻を  $t_0 = 0\text{s}$ 、C地点を通過した時刻を  $t_C[\text{s}]$  とすれば、 $t = t_0$  から  $t_r$  までは速度  $V_A$  の等速直線運動であり、 $t = t_r$  から  $t_C$  までは加速度  $-fg$  の等加速度直線運動である。この関係をグラフ化すると図2のようになる。図2中の黄色で塗りつぶした面積がCに到達するまでの車両の移動距離であり、これが  $D_{\text{recog}}$  と等しくなる時の  $t$  が  $t_C$  となる。よって、

$$\frac{V_A}{3.6} t_C - \frac{fg}{2} (t_C - t_r)^2 = D_{\text{recog}} \quad (7)$$

を解いて、式(8)を得る。

$$t_C = t_r + \frac{V_A}{3.6fg} - \sqrt{\left(t_r + \frac{V_A}{3.6fg}\right)^2 - \left(t_r^2 + 2\frac{D_{\text{recog}}}{fg}\right)} \quad (8)$$

ここで、解が2つある場合に  $t_C$  は必ず小さな方が解となるため、式(8)の右辺第3項の符号は負となる。また、減速開始前にC地点を通過する場合、すなわち  $t_r \geq t_C$  の場合は等速直線運動であるから、以下の式(9)で  $t_C$  を求める

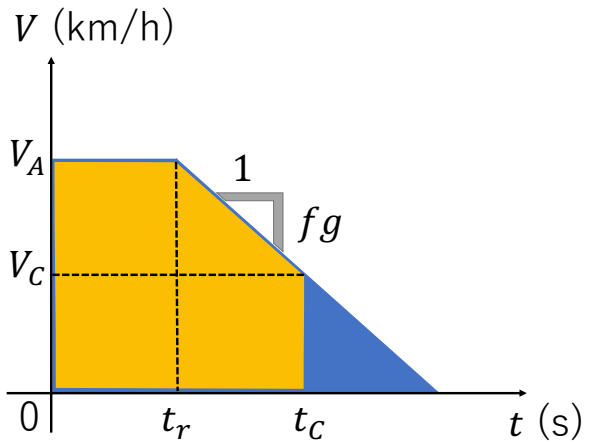


図2 車両速度の変化

ことができる。

$$t_C = \frac{3.6D_{\text{recog}}}{V_A} \quad (9)$$

一方、歩行者が自動車を認知可能な地点PからCまでの距離を歩行者認知可能距離  $L_{\text{recog}}[\text{m}]$  とすると、図1より、式(10)で求められる。

$$L_{\text{recog}} = \frac{D_{\text{recog}} w_A}{D_{\text{recog}} - w_P - \frac{l_{CC}}{\sqrt{2}}} \quad (10)$$

また、歩行者は一定速度  $V_P$  でPからCに移動するため、歩行者がP (=車両がA) にいる時刻を  $t_0 = 0\text{s}$  とすると、歩行者がCに到達する時刻 (歩行者衝突余裕時間  $t_P[\text{s}]$ ) は式(11)で求められる。

$$t_P = \frac{3.6L_{\text{recog}}}{V_P} = \frac{3.6D_{\text{recog}} w_A}{V_P \left(D_{\text{recog}} - w_P - \frac{l_{CC}}{\sqrt{2}}\right)} \quad (11)$$

以上より、PET指標は式(12)で算出可能となる。

$$\text{PET} = t_C - t_P \quad (12)$$

PET  $> 0\text{s}$  の場合は歩行者がCに到達後に車両が到達、PET = 0s の場合は歩行者と車両が同時にCに到達することを表す。また、PETの絶対値が大きければ大きいほど歩行者と車両の到達時間差が大きくなる。

以上について歩行者を自転車に読み替えれば、同様に定式化が可能である。

## 2.3 危険性判定方法

これまでの筆者らの研究<sup>3,4)</sup>では、車両側余裕距離の値が小さければ衝突予定地点Cから近い位置で、値が大きければCから離れた位置でそれぞれ車両が停止することを根拠として、衝突可能性をもとに安全性を評価していた。車両側余裕距離が正值の場合は、この判断で問題はない。しかし、車両側余裕距離が負値の場合、その絶対値が大きいは車両がCを通過する際に十分に減速できていないことを意味しており、より慎重な検討が必要である。ただし、車両側余裕距離が負値であっても、歩行者がCを通過後に十分な時間が経過してから車両が

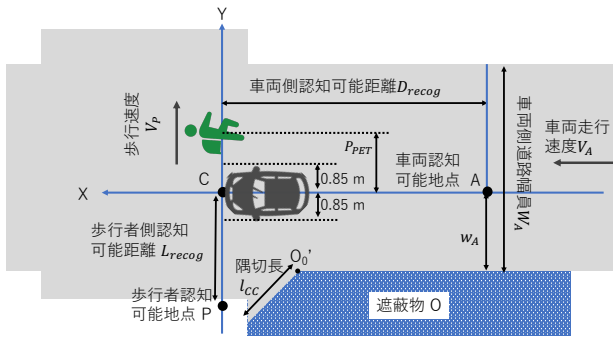


図3 車幅と歩行者位置に基づく危険性判定方法

1 Cに到達する状況，すなわちPETが大きな値であれば危  
 2 険性は低いと言える．一方で，PETが小さな値である場  
 3 合は，歩行者・自転車が衝突予定地点を通り過ぎてから  
 4 間を置かず車両がCを通過することを表している．以  
 5 上を踏まえて，本節では本研究の危険性判定方法を説明  
 6 する．

7 車両が衝突予定時点に到達した時点での速度 $V_C$ は，式  
 8 (6)および図2より以下の式(13)で求められる．

$$V_C = V_A - 3.6fg(t_C - t_r) \text{ [km/h]} \quad (13)$$

9 ただし， $t_r \geq t_C$ の場合は減速開始前にC地点を通過する  
 10 ため，

$$V_C = \begin{cases} V_C & t_r < t_C \\ 30 \text{ km/h} & t_r \geq t_C \end{cases} \quad (14)$$

11 である．

12 歩行者の進行方向にY軸をとってC地点を原点とすれ  
 13 ば，車両がC地点に到達した時の歩行者位置 $P_{PET}$  [m]は，  
 14 式(15)で求められる．

$$P_{PET} = PET \times V_P \quad (15)$$

15 図3に本研究における危険性判定方法の概念図を示  
 16 す．道路運送車両法で定められる小型乗用車を基準と  
 17 して，その全幅1.7mの範囲内で衝突の可能性が生じ  
 18 ると考え，Cを原点として $P_{PET} \leq 0.85$ であれば危険と判  
 19 断する．なお，車両がCに到達する前に停止する場合  
 20 ( $D_{margin} > 0$  m)にはPETは算出できず，この判定方法を  
 21 適用することはできない．この場合，これまでの筆者ら  
 22 の研究<sup>3,4)</sup>と同様に，小型乗用車の車長4.7mの範囲内  
 23 で衝突の可能性があると考え， $0 \text{ m} \leq D_{margin} \leq 2.35$  mの範  
 24 囲内であれば危険，範囲外であれば安全と判断する．

25 以上の接触可能性に基づく評価に加えて，被害の大小  
 26 に直接影響するC地点通過時の車両速度を含めて総合的  
 27 に評価する．なお，以上について歩行者を自転車に読み  
 28 替えれば，同様に導出可能である．

表1 計算条件の分類 (単位：通り)

		隅切			
		1. 両方	2. 右のみ	3. 左のみ	4. なし
遮蔽物	1. 両方	64	64	64	64
	2. 右のみ	32	32	32	32
	3. 左のみ	32	32	32	32

表2 対象交差点63箇所の分類 (単位：箇所)

		隅切			
		1. 両方	2. 右のみ	3. 左のみ	4. なし
遮蔽物	1. 両方	34	4	4	7
	2. 右のみ	3	3	1	1
	3. 左のみ	2	1	3	0

## 2.4 ケーススタディ

1 ケーススタディとして，秋田工業高等専門学校に隣接  
 2 する住宅地であり，同校生による通学路利用が多い秋田  
 3 県秋田市飯島長野中町内の交差点のうち，見通しを阻害  
 4 する遮蔽物があり，かつ，車両側に一時停止規制がない  
 5 交差点63箇所を現地踏査により抽出した．なお，遮蔽物  
 6 には建築物およびブロック塀の他，生け垣も含まれる  
 7 が，踏査実施時点において，遮蔽物の隙間から見通しが  
 8 可能となるような状態はなかった．また，対象交差点に  
 9 において，道路幅員が5.5mを超える道路を含め全ての道  
 10 路に中央線および歩道はない．

11 本研究では通行位置を歩行者通行位置（右歩・左歩）  
 12 および自転車通行位置（順走・逆走）別の4水準とする．  
 13 計算条件は交差点ごとに最大64通り（車両進行方向・路  
 14 面状態各2水準，通行位置・反応時間各4水準）である．

15 表1に隅切と遮蔽物の条件別に分類した計算条件を，  
 16 表2に対象交差点の分類を示す．表1および表2の隅切条  
 17 件を $i = 1, 2, 3, 4$ で，遮蔽物条件を $j = 1, 2, 3$ で表し，表  
 18 1の各要素を $a_{ij}$ ，表2の各要素を $b_{ij}$ とすると，計算パ  
 19 ターン総数は $\sum a_{ij}b_{ij} = 3584$ 通りとなる．

20 図4に本研究で想定する歩行位置および自転車走行  
 21 位置の模式図を示す．歩行者は道路縁から0.375mの  
 22 位置<sup>10)</sup>を $V_P = 4.36 \text{ km/h}$ <sup>11)</sup>で歩行すると仮定する．ま  
 23 た，自転車は道路縁から0.5mの位置<sup>10)</sup>を順走の場合は  
 24  $V_B = 10 \text{ km/h}$ <sup>12)</sup>，逆走の場合は $V_B = 6 \text{ km/h}$ <sup>12)</sup>で走行す  
 25 るものとする．

26 右側歩行・車両進行方向左と左側歩行・車両進行方向右  
 27 の場合は $w_P = 0.375$  mとなり，左側歩行・車両進行方向左  
 28 と右側歩行・車両進行方向右の場合は $w_P = W_P - 0.375$  m  
 29 となる．ここで， $W_P$  [m]は歩行者側道路の道路幅員で  
 30

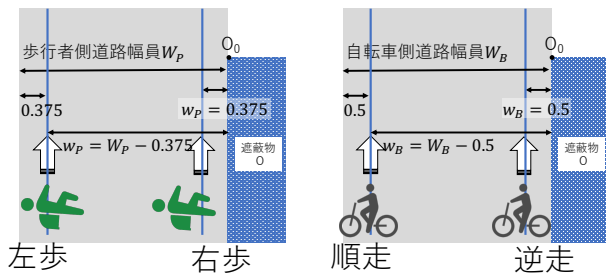


図4 歩行者・自転車位置(車両進行方向左)

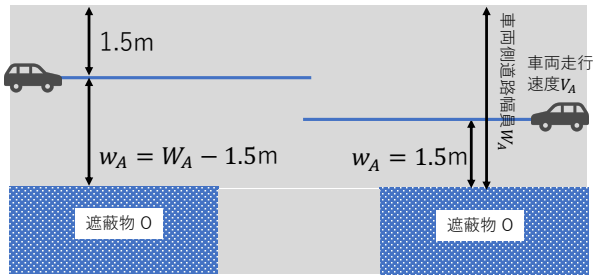


図5 車両走行位置模式図(既往研究<sup>3)</sup>より再掲)

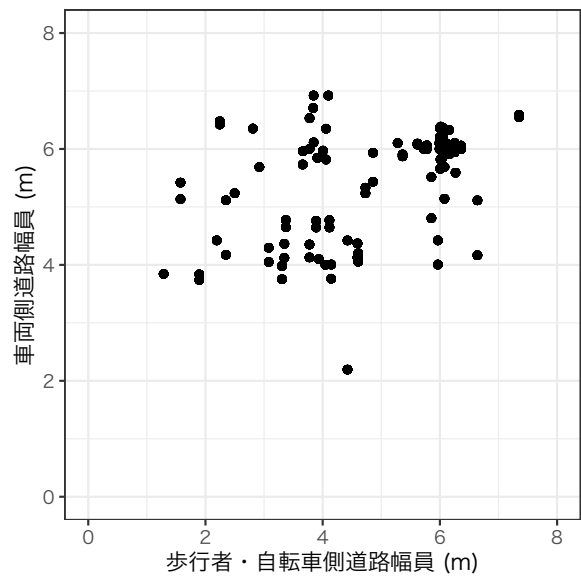


図6. 計算パターン別道路幅員の分布(既往研究<sup>4)</sup>より再掲)

1 ある。

2 図5に車両走行位置の模式図を示す。車両は運転  
3 手座席位置が道路縁から1.5mの位置を法定速度 $V_A =$   
4  $30\text{km/h}$ で走行すると仮定する。よって、車両進行  
5 方向左の場合 $w_A = 1.5\text{m}$ 、車両進行方向右の場合は  
6  $w_A = W_A - 1.5\text{m}$ となる。ここで、 $W_A[\text{m}]$ は車両側道路  
7 の道路幅員(m)である。

8 反応時間は従来車両については通常反応の場合 $t_r =$   
9  $0.75\text{s}$ <sup>13)</sup>、反応が遅れた場合として $t_r = 2.50\text{s}$ <sup>13)</sup>を用い  
10 る。先進安全自動車の場合は謝ら<sup>14)</sup>を参考に $t_r = 0.50\text{s}$   
11 を、自動運転車の場合は高橋<sup>2)</sup>を参考に $t_r = 0\text{s}$ をそれぞ  
12 れ用いる。縦すべり摩擦係数はアスファルトの乾燥路  
13 面の場合(乾燥) $f = 0.70$ <sup>15)</sup>、湿潤路面の場合(湿潤)  
14  $f = 0.45$ <sup>15)</sup>を用いる。隅切長は一律に $l_{CC} = 2\text{m}$ とする。  
15 また、交差点は全て直交し、遮蔽物Oの内角は $90^\circ$ である  
16 と仮定する。それぞれの交差点における歩行者側および  
17 車両側道路幅員は、GIS上で数値地図(国土基本情報)の  
18 道路中心線データが交差する箇所から半径10mの位置に  
19 おける幅員(道路構成線データ)を用いて計測した<sup>3,4)</sup>。

20 図6に計算パターン別の道路幅員の分布を示す。図の  
21 横軸は歩行者側および自転車側道路幅員、縦軸は車両側  
22 道路幅員である。車両側道路幅員は4mから7mに集  
23 中しているのに対して、歩行者側および自転車側道路幅  
24 員は範囲内に偏りなく分布している。

### 25 3. 結果と考察

#### 26 3.1 結果

27 これ以降、本研究では事故類型を通行位置4水準と車  
28 両進行方向2水準の組み合わせからなる8水準とする。

図7に事故類型別の車両側余裕距離頻度分布を階級幅  
2.35mのヒストグラムで示す。図中の柱は既報論文<sup>4)</sup>に  
て $D_{\text{margin}}$ への影響が明らかになった反応時間別に塗り  
4 分けている。また、図中の $D_{\text{margin}} = \pm 2.35\text{m}$ の位置に描  
5 画した縦の点線は、これまでの筆者らの研究<sup>3,4)</sup>での危  
6 険性の判断基準を表し、この範囲内であれば危険、範囲  
7 外であれば安全と判断していた。図7から以下の4点がわ  
8 かる。

- 9 1) 計算パターン総数3584通りのうち2366通りが正值、  
10 1218通りが負値であった
- 11 2) 右側歩行、左側歩行、自転車逆走、自転車順走の順  
12 に全体的に左寄りとなっており、この傾向は車右の  
13 場合により顕著である(式(4)右辺第1項および第2項  
14 の影響)
- 15 3) 反応時間が大きい順(遅れ、通常、ASV、AV)に分  
16 布が左側に位置している(式(4)右辺第4項の影響)
- 17 4) 車両進行方向が右の場合(車右)には裾野が広い分  
18 布となっているのに対して、車両進行方向が左の場  
19 合(車左)には二つのピークを持つような分布形状  
20 となっている(式(4)右辺第4項の影響が示唆される)
- 21 5)  $D_{\text{margin}} \leq -2.35\text{m}$ の多くは反応時間遅れである

22 図8に事故類型別反応時間別のPET算出結果を示す。  
23 なお、同一値が多いため、図中のプロット点が重なら  
24 ないように、それぞれの横位置には若干のノイズを加えて  
25 いる。図8から以下の5点が見える。

- 26 1) 計算パターン総数3584通りのうち1218通りでPET  
27 が算出でき、これは車両側余裕距離が負値(衝突予  
28 定地点を過ぎてから車両が停止)の計算パターンと  
29 一致する
- 30 2) いずれの事故類型でも反応時間遅れの場合にPET =

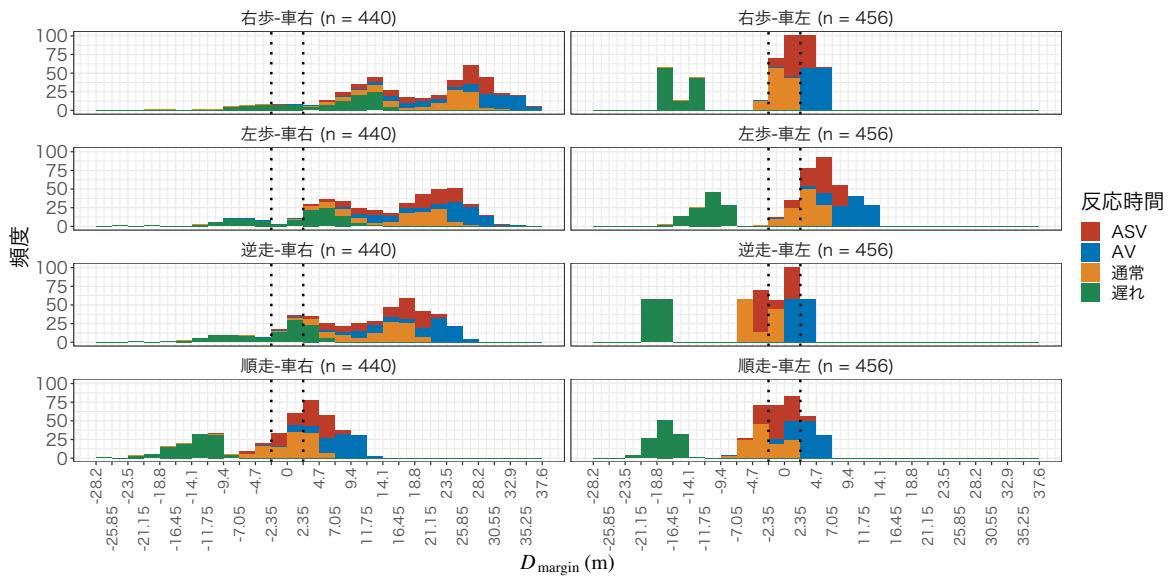


図7 事故類型別車両側余裕距離頻度分布

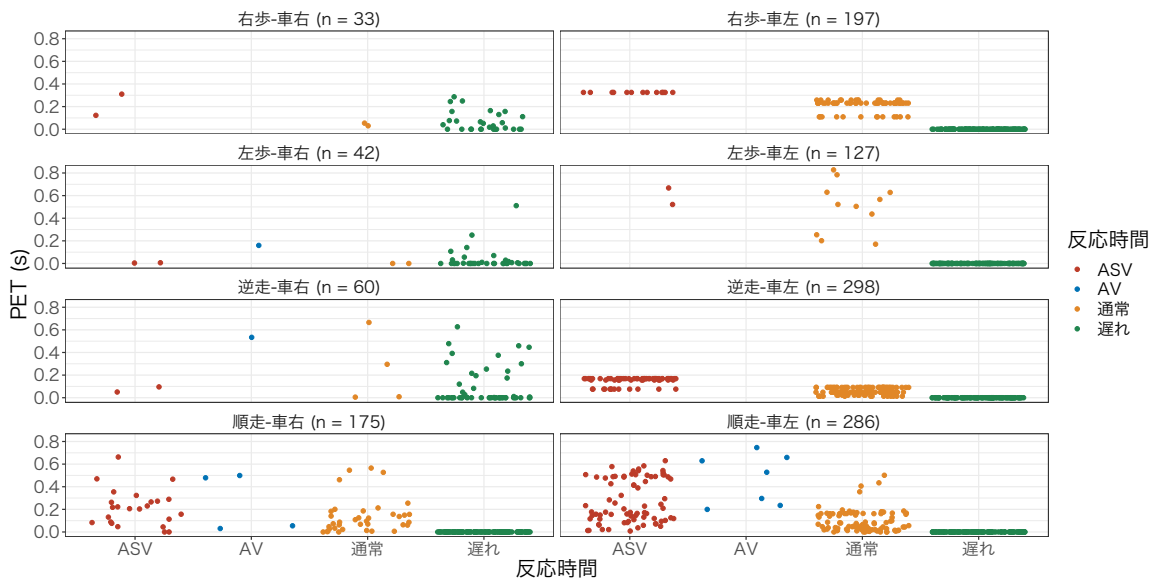


図8 事故類型別反応時間別PET算出結果

1 0sが多く、特に順走-車右と全通行位置の車左では  
 2 全て0sである。  
 3 3) 右歩-車左・逆走-車左・順走-車左では遅れだけで  
 4 なく、ASV・通常にも特定の値に結果が集中して  
 5 いる  
 6 4) PETは最大でも0.83sである  
 7 図9にC地点通過時の車両速度とその時の歩行者・自転  
 8 車位置を示す。なお、複数の事故類型で計算パターン数  
 9 に対してプロット点が少ない理由は、C地点での車両速  
 10 度とその時の歩行者・自転車位置はどちらもPETによ  
 11 って決まり(式(12), 式(13), 式(14), 式(15)参照), PETが  
 12 同値の場合が多い(図8参照)ためである。図中の歩  
 13 行者・自転車位置が0.85mの位置に描画した横の点線より  
 14 下であれば衝突可能性があるとして危険、上であれば安

1 全と判断する。図9より、以下の2点がわかる。  
 2 1) 右歩-車右, 右歩-車左, 左歩-車右, 逆走-車左では  
 3 位置が0.85m以下  
 4 2) 順走-車左, 順走-車右, 逆走-車右, 左歩-車左の順  
 5 に位置が0.85mより大きいパターンが多い  
 6 また、歩行者・自転車位置と車両速度との相関分析  
 7 の結果、ピアソンの積率相関係数 $r = -0.838$ , 自由度  
 8  $df = 1216$ ,  $t$ 検定統計量 $= -53.529$ ,  $P$ 値 $< 2.2 \times 10^{-16}$ と  
 9 有意な負の相関関係が認められた。  
 10 表3に2.3節で提案した危険性判定方法による事故類型  
 11 別判定結果を示す。表中括弧内の値は各行内の比率であ  
 12 る。表3より以下の3点がわかる。  
 13 1) 全3584通りの計算パターンのうち44.6%が危険と  
 14 判定

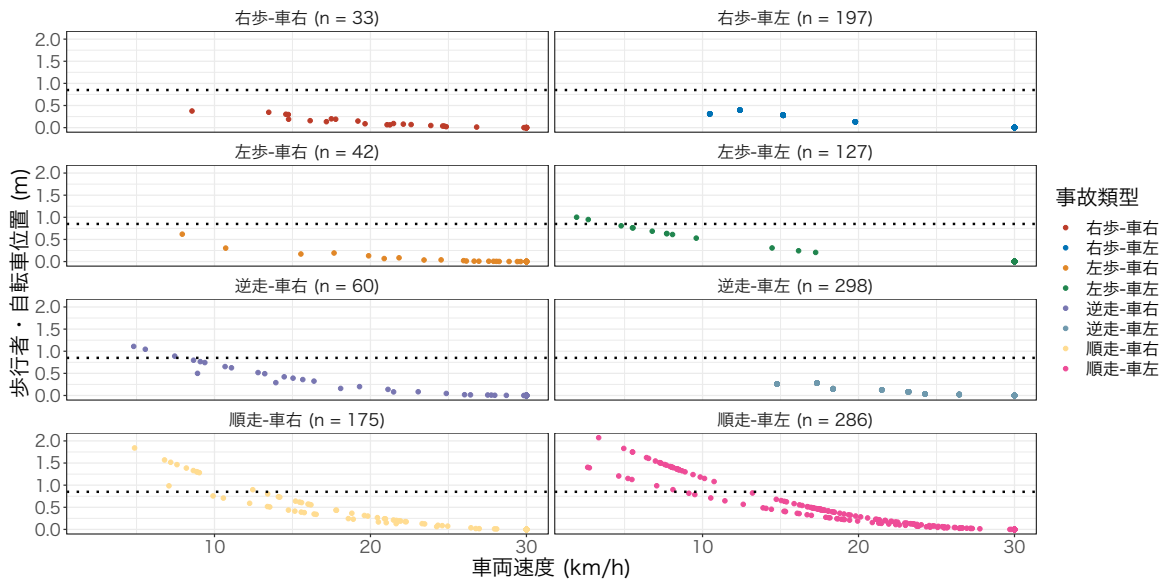


図9 事故類型別C地点での車両速度とその時の歩行者・自転車位置

表3 事故類型別の危険性判定 (提案方法)

事故類型	危険	安全	Total
右歩-車右	41 (9.3%)	399 (90.7%)	440 (100.0%)
右歩-車左	298 (65.4%)	158 (34.6%)	456 (100.0%)
左歩-車右	53 (12.0%)	387 (88.0%)	440 (100.0%)
左歩-車左	160 (35.1%)	296 (64.9%)	456 (100.0%)
逆走-車右	93 (21.1%)	347 (78.9%)	440 (100.0%)
逆走-車左	399 (87.5%)	57 (12.5%)	456 (100.0%)
順走-車右	225 (51.1%)	215 (48.9%)	440 (100.0%)
順走-車左	331 (72.6%)	125 (27.4%)	456 (100.0%)
Total	1600 (44.6%)	1984 (55.4%)	3584 (100.0%)

$\chi^2_{statics} = 1096.219, df = 7, P\text{-value} = 0$

表4 事故類型別の危険性判定 (従来方法)

事故類型	危険	安全	Total
右歩-車右	16 (3.6%)	424 (96.4%)	440 (100.0%)
右歩-車左	171 (37.5%)	285 (62.5%)	456 (100.0%)
左歩-車右	14 (3.2%)	426 (96.8%)	440 (100.0%)
左歩-車左	47 (10.3%)	409 (89.7%)	456 (100.0%)
逆走-車右	53 (12.0%)	387 (88.0%)	440 (100.0%)
逆走-車左	158 (34.6%)	298 (65.4%)	456 (100.0%)
順走-車右	94 (21.4%)	346 (78.6%)	440 (100.0%)
順走-車左	154 (33.8%)	302 (66.2%)	456 (100.0%)
Total	707 (19.7%)	2877 (80.3%)	3584 (100.0%)

$\chi^2_{statics} = 402.585, df = 7, P\text{-value} = 0$

- 2) 事故類型別に見ると、右歩-車右と左歩-車右の危険率が10%前後、逆走-車右が21.1%、左歩-車左が35.1%と比較的低く、それ以外は50%超と高い。特に、逆走-車左は87.5%と大部分が危険と判定
- 3) 全ての通行位置で車左が車右よりも危険率が高く、歩行者よりも自転車の方が危険率が高い傾向
- 表4に従来<sup>3,4)</sup>の判定方法( $-2.35\text{ m} \leq D_{\text{margin}} \leq 2.35\text{ m}$ の範囲内であれば危険、範囲外であれば安全)による事故類型別判定結果を示す。表中括弧内の値は各行内の比率である。表4より以下の3点がわかる。
- 1) 全3584通りの計算パターンのうち19.7%が危険と判定
  - 2) 事故類型別に見ると、右歩-車右と左歩-車右の危険率が4%弱、左歩-車左が10.3%、逆走-車右が12.0%と比較的低く、それ以外も40%には満たない
  - 3) 全ての通行位置で車左が車右よりも危険率が高く、歩行者よりも自転車の方が危険率が高い傾向にある。
- これらの傾向は提案方法による結果と同様である。

- 表5にPETが算出可能な1218通りでの危険性判定結果を事故類型別に提案方法と従来方法でクロス集計した結果を示す。表中括弧内の値は各列内の比率である。表5右下の順走-車左を例に表の読み方を説明する。提案方法による判定では248通りが危険と判定され、そのうち33通りが従来方法でも危険と判定され、残りの215通りは従来方法では安全と判定された。また、提案方法で38通りが安全と判定され、それら全てが従来方法では危険と判定された。従来方法によって71通りが危険と判定され、そのうち33通りが提案方法でも危険と判定され、残りの38通りは提案方法では安全と判定された。また、従来方法で215通りが安全と判定され、それら全てが提案方法では危険と判定された。表5から以下の3点がわかる。
- 1) 提案方法と従来方法の判定が一致するパターンは少なく、特に安全が一致するパターンは皆無である
  - 2) 提案方法の判定は全ての事故類型で危険が安全よりも多く、最も小さい危険率でも順走-車左の86.7%、4つの事故類型で危険率100%である

表5 事故類型別の危険性判定結果比較

提案方法	従来方法			提案方法	従来方法		
	危険	安全	Total		危険	安全	Total
右歩-車右				右歩-車左			
危険	8 (100.0%)	25 (100.0%)	33 (100.0%)	危険	70 (100.0%)	127 (100.0%)	197 (100.0%)
安全	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	安全	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
Total	8 (100.0%)	25 (100.0%)	33 (100.0%)	Total	70 (100.0%)	127 (100.0%)	197 (100.0%)
左歩-車右				左歩-車左			
危険	3 (100.0%)	39 (100.0%)	42 (100.0%)	危険	10 (83.3%)	115 (100.0%)	125 (98.4%)
安全	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	安全	2 (16.7%)	0 (0.0%)	2 (1.6%)
Total	3 (100.0%)	39 (100.0%)	42 (100.0%)	Total	12 (100.0%)	115 (100.0%)	127 (100.0%)
逆走-車右				逆走-車左			
危険	14 (82.4%)	43 (100.0%)	57 (95.0%)	危険	57 (100.0%)	241 (100.0%)	298 (100.0%)
安全	3 (17.6%)	0 (0.0%)	3 (5.0%)	安全	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
Total	17 (100.0%)	43 (100.0%)	60 (100.0%)	Total	57 (100.0%)	241 (100.0%)	298 (100.0%)
順走-車右				順走-車左			
危険	22 (66.7%)	142 (100.0%)	164 (93.7%)	危険	33 (46.5%)	215 (100.0%)	248 (86.7%)
安全	11 (33.3%)	0 (0.0%)	11 (6.3%)	安全	38 (53.5%)	0 (0.0%)	38 (13.3%)
Total	33 (100.0%)	142 (100.0%)	175 (100.0%)	Total	71 (100.0%)	215 (100.0%)	286 (100.0%)

3) 従来方法の判定は全ての事故類型で安全が危険よりも多く、最も大きい危険率でも右歩-車左の35.5% (= 127/197 × 100)である

### 3.2 考察

図7からも傾向が確認可能などおり、既報論文<sup>4)</sup>では反応時間別の検討で遅れが最も危険率が低いと判定されており、低い順にそれぞれ、遅れ7.5%、AV11.8%、ASV28.8%、通常30.9%であった。この結果に対する合理的な説明は既報論文<sup>4)</sup>でもなされていない。これに対して、本研究で提案した評価方法を適用すれば、反応時間別の危険率は低い順にそれぞれ、AV6.4%、ASV19.9%、通常28.2%、遅れ45.5%と反応時間の短い順となる。この理由は図8から遅れ、通常、ASV、AVの順にPETが低いパターンが多いことと、式(15)からPETが低ければ危険判定が増えることで説明可能である。

C地点通過時の車両速度とその時の歩行者・自転車位置(図9)において、順走・逆走・歩行者の順に安全と判定されるパターン数が多かった理由としては、自転車・歩行者の速度が高いほどPET経過までの間にC地点から離れることが可能となるためと考えられる。これとは逆に、C地点通過時の車両速度とその時の歩行者・自転車位置が負の相関を持つ理由としては、車両速度が速いほど、歩行者・自転車がC地点から離れる前に車両が到達するためと考えられる。また、左歩-車左と順走-車左および逆走-車右の方が安全と判断されるパターンが多かった理由としては、それぞれの組み合わせの方が

$D_{recog}$ が大きくなり、その結果、PETが大きくなる(式(8)、式(9)、式(11)、式(12)参照)ためと考えられる。

表3と表4および以上の分析結果により、従来方法では見通しの悪い無信号交差点部周辺の安全性を過大に評価していた可能性が示唆される。本研究で提案する方法はこれを是正する結果となった。また、図9に示したとおり接触危険性の高いパターンの多くで減速が十分ではなく、車両速度が高いことがわかった。これは接触時の被害の程度にも影響することから、反応時間の短いAVやASVの技術開発および導入に向けた諸制度の整備推進、規制速度の再検討が重要となる。

### 4. おわりに

本研究は生活道路の無信号交差点部における安全性の評価方法として、PET指標を元にした新たな評価方法を提案した。あわせて従来の評価方法が危険性を過小評価する可能性を指摘した。その結果、従来の車両側余裕距離のみでの評価では検討できなかった、衝突時の速度を考慮した安全性の検討が可能となった。

今後の課題としては、以下の3点が挙げられる。

- 1) 既存研究を参考に所与のものとして扱った反応時間の設定値についての検討
  - 2) 生活道路単路部の安全性評価方法の検討
  - 3) 交通量を加味して地域の交通事故リスクを推定する方法に拡張する
- 他地域と比較可能な形で地域の交通事故リスクを評価できれば、交通事故対策の必要性の有無を客観的に判断出



1 来るようになると考えられる。その上で、例えば、車両  
2 制限速度を30km/hよりも低速にする必要がある、等の  
3 対策の必要性が客観的に明らかになれば、一部の道路利  
4 用者にとっては「不便な」対策に対する地域の合意形成  
5 に資すると期待される。

## 6 参考文献

- 7 1) 高橋昭夫：マイクロ事故データを活用した四輪車の  
8 出会い頭事故の分析，自動車技術会論文集，Vol. 48，  
9 No. 6，pp. 1285–1290，2017.
- 10 2) 高橋昭夫：自転車と四輪車の出会い頭事故，イタル  
11 ダイインフォメーション，交通事故総合分析センター，  
12 pp. 1–12，2017.
- 13 3) 長谷川裕修，伊藤菜，田村亨：生活道路の交差点部周  
14 辺における歩行者通行位置の安全性評価，交通工学  
15 論文集，Vol. 6，No. 2，pp. A\_71–A\_77，2020.
- 16 4) 長谷川裕修，新屋敷学，葛西誠，田村亨：自動運転車  
17 導入による生活道路交差点部周辺の出会い頭事故削  
18 減可能性の評価，交通工学論文集，Vol. 7，No. 4，pp.  
19 A\_55–A\_64，2021.
- 20 5) Hayward, J. C. : Near-miss determination through  
21 use of a scale of danger, *Highway Research Record*,  
22 No. 384, pp. 24–35, 1972.
- 23 6) Allen, B. L., Shin, B. T. and Cooper, P. : Analysis of  
24 Traffic Conflicts and Collisions., *Transportation Re-*  
25 *search Record*, No. 667, pp. 67–74, 1978.
- 26 7) 若林拓史，高橋吉彦，新美栄浩，蓮花一己：交通流ビ

1 デオ解析システムを用いた交通コンフリクト分析と  
2 新しい危険度評価指標の提案，土木計画学研究・論  
3 文集，Vol. 20，pp. 949–956，2003.

- 4 8) 平岡敏洋，田中雅樹，熊本博光，泉達也，畑中健一：衝  
5 突回避減速度を用いたリスク評価指標の提案，自動  
6 車技術会論文集，Vol. 40，No. 2，pp. 545–551，2009.
- 7 9) 多田昌裕，飯田克弘，安時亨，山田憲浩：衝突形態を  
8 表現可能な交通コンフリクト指標を用いた本線料金  
9 所の交通流解析，交通工学論文集，Vol. 1，No. 2，pp.  
10 A\_79–A\_87，2015.
- 11 10) 日本道路協会(編)：道路構造令の解説と運用（改訂  
12 版），丸善出版，令和2年版，2020.
- 13 11) 田中敦士，奥住秀之：小児歩行の発達的变化，*Equi-*  
14 *librium Research*, Vol. 55, No. 3, pp. 270–274, 1996.
- 15 12) 三谷哲雄，山中英生：細街路小交差点における自転  
16 車の通行挙動特性の把握，平成25年度公益財団法人  
17 タカタ財団助成研究論文集，公益財団法人タカタ財  
18 団，pp. 1–73，2013.
- 19 13) 高島一彦，古池弘隆，森本章倫：交差点における自動  
20 車の走行特性からみた交通事故の潜在的危険性に関  
21 する分析，土木学会論文集，Vol. 716，No. IV-57，pp.  
22 39–52，2002.
- 23 14) 謝振宇，星野一輝，山本俊雄，小嶋文，久保田尚：歩行  
24 者・自転車事故の個別的事故分析に基づく自動運転  
25 の事故軽減効果計測手法等の研究開発，交通工学論  
26 文集，Vol. 6，No. 4，pp. A\_63–A\_70，2020.
- 27 15) 江守一郎：自動車事故工学，技術書院，1974.