

見通しの悪い生活道路無信号交差点部の安全性評価指標の検討

Study of Safety Evaluation Index for Non-Signalized Intersections at Residential Roads with Poor Visibility

長谷川 裕修¹, 工藤 理人², 葛西 誠³, 田村 亨⁴

Hironobu HASEGAWA¹, Rihito KUDO², Makoto KASAI³ and Tohru TAMURA⁴

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を占めている。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%であった。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当かについて、いまだ共通認識はない。以上の問題意識のもと、本研究では近年筆者らが用いている車両側余裕距離に基づく評価と交通分野で一般的なPET指標を用いた評価とを比較検討した。結果、車両側余裕距離とPETには興味深い関係性が示唆される結果となった。

Keywords: 交通安全, 生活道路, 無信号交差点, 安全性評価指標

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当かについて、いまだ共通認識はない。以上の問題意識のもと、本研究では近年筆者らが用いている車両側余裕距離に基づく評価と交通分野で一般的なPET指標を用いた評価とを比較検討した。

2. 既往研究の整理と本研究の位置付け

高橋は交通事故例調査（マイクロデータ）を用いて、四輪車同士の交差点での出会い頭事故¹⁾や四輪車と自転車との出会い頭事故²⁾について、認知可能距離を基に衝突回避の可能性を検討している。この方法を援用し、筆者

らは生活道路交差点部の安全性評価を車両側認知可能距離、停止距離、車両側余裕距離に基づき行ってきた^{3,4)}。

一方で、これまで交通分野で交差点部の安全性評価に一般的に用いられてきた指標にPET指標（行動後到達時間）とTTC指標（衝突までの時間）がある⁵⁾。PET指標とはAllenら⁶⁾によって提唱された交通コンフリクト測度で「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。また、TTC指標とは「2台の車両が回避行動を伴わず、その時点での角度と速度を維持したまま進行すれば、何秒後に衝突するか」で定義されている。

本研究では、交通分野で一般的なPET指標と新しい指標となる車両側余裕距離とを比較し、生活道路での無信号交差点部周辺での安全性評価指標について適切に評価する指標を検討する点に新規性と有用性がある。

3. 研究方法

3.1 車両側余裕距離の定式化

本節では、高橋^{1,2)}の方法論を援用して、無信号かつ車両側に一時停止規制がなく、見通しが悪い生活道路の交差点周辺において、歩行者および自転車の通行位置と

1 正会員, 博士 (工学), 秋田工業高等専門学校

〒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)

3 正会員, 博士 (工学), 秋田工業高等専門学校

4 正会員, 工学博士, 北海商科大学

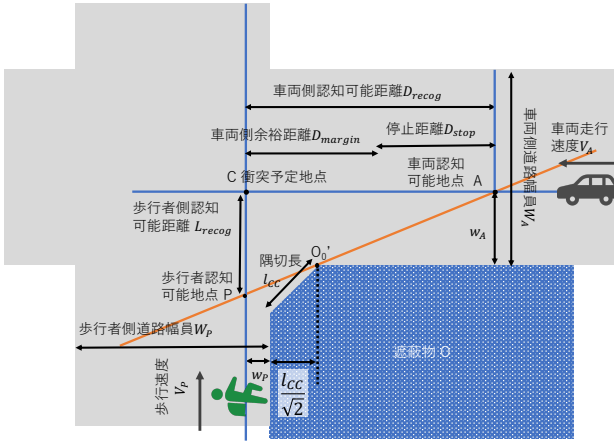


図1 事故模式図（右歩・車左・隅切りあり）

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モデル化を簡単に説明する。なお、自動車と歩行者とのモデル化の詳細は2020年の論文³⁾を、自動車と自転車とのモデル化の詳細は2021年の論文⁴⁾をそれぞれ参照されたい。

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

Aと歩行者の認知可能地点Pおよび隅切長 l_{cc} (m)の隅切をもつ遮蔽物Oの端点 O'_0 が一直線上にあるときに車両運転手が最も早く歩行者を認知可能となる。このとき、 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 、車両が V_A でそのまま進んだ場合に時刻 t_C (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。

$$\frac{w_A}{D_{recog} - \left(w_P + \frac{l_{cc}}{\sqrt{2}}\right)} = \frac{V_p t_C}{V_A t_C}$$

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

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⁷⁾を援用し、(3)式で求める。

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

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

$$D_{margin} = D_{recog} - D_{stop}$$

$$= w_P + \frac{V_A}{V_p} w_A + \frac{l_{cc}}{\sqrt{2}} - \frac{V_A t_r}{3.6} - \frac{V_A^2}{2gf \cdot 3.6^2} \quad (4)$$

となる。

$D_{margin} > 0 \text{ m}$ であれば、歩行者がCに到達したとき、車両はCより手前で停止可能であり、衝突を回避できる。この場合、絶対値が大きいほど安全である。また、 $D_{margin} = 0 \text{ m}$ 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。 $D_{margin} < 0 \text{ m}$ 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。この場合も、絶対値が大きいほど衝突の可能性は低い。

以上について歩行者を自転車に読み替えれば、同様に定式化可能である。

3.2 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 (kg)とし、車両の進行方向にX軸をとって時刻 t (s)における車両の位置を $x(t)$ (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 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_{recog} と等しくなる時の t が t_C となる。

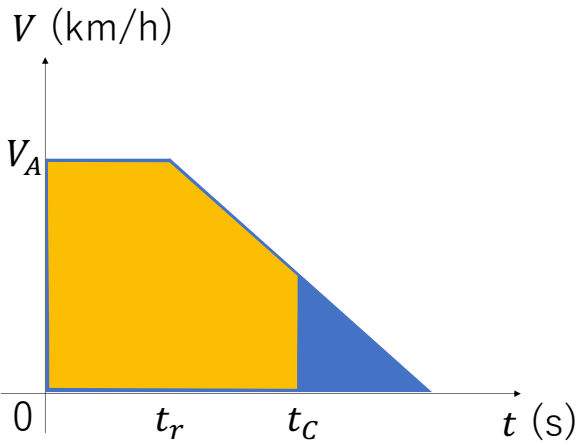


図2 車両速度の変化

よって、

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

$$t_C^2 - 2 \left(t_r + \frac{V_A}{3.6fg} \right) t_C + t_r^2 + 2 \frac{D_{\text{recog}}}{fg} = 0 \quad (7)$$

を解いて、式(8)を得る。

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

ただし、 t_C は必ず小さな方となるので、式(8)の第3項の符号は負のみとする。

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_{recog} とすると、図1より、式(9)で求められる。

$$L_{\text{recog}} = \frac{D_{\text{recog}} W_A}{D_{\text{recog}} - w_P - \frac{l_{CC}}{\sqrt{2}}} \quad (9)$$

また、歩行者は一定速度 V_P でPからCに移動するので、歩行者がP (=車両がA) の時刻を $t_0 = 0$ 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) は式(10)で求められる。

$$t_P = \frac{3.6 L_{\text{recog}}}{V_P} = \frac{3.6 D_{\text{recog}} W_A}{V_P \left(D_{\text{recog}} - w_P - \frac{l_{CC}}{\sqrt{2}} \right)} \quad (10)$$

以上より、PET指標は式(11)で算出可能となる。

$$PET = t_C - t_P \quad (11)$$

PET > 0 の場合は歩行者がCに到達後に車両が到達、PET = 0 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間隔が大きくなり、より安全となる。

3.3 ケーススタディ

ケーススタディとして、秋田工業高等専門学校に隣接する住宅地であり、同校生による通学路利用が多い秋田県秋田市飯島長野中町内の交差点のうち、見通しを阻害する遮蔽物があり、かつ、車両側に一時停止規制がない

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

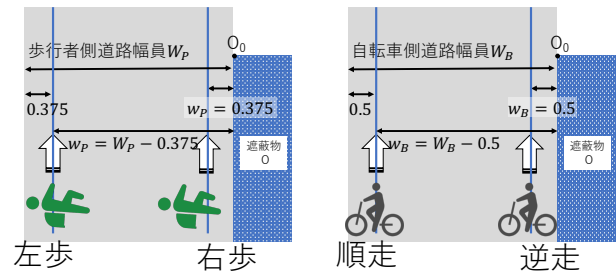


図3 歩行者・自転車位置(車両進行方向左)

交差点63箇所を現地踏査により抽出した。なお、遮蔽物には建築物およびブロック塀の他、生け垣も含まれるが、踏査実施時点において、遮蔽物の隙間から見通しが可能となるような状態はなかった。

本研究では、事故類型を歩行者通行位置 (右歩・左歩) および自転車通行位置 (順走・逆走) 別の4種類と考える。歩行者は歩道 (等) のない道路では原則として右側端を通行しなければならない。また、軽車両である自転車は左側通行が順走であり、右側通行が逆走である。計算条件は交差点ごとに最大64通り (車両進行方向・路面状態各2水準、事故類型・反応時間各4水準) である。

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

図3に本研究で想定する歩行位置および自転車走行位置の模式図を示す。歩行者は道路縁から0.375 mの位置⁷⁾を $V_P = 4.36$ km/h⁸⁾で歩行すると仮定する。また、自転車は道路縁から0.5 mの位置⁷⁾を順走の場合は $V_B = 10$ km/h⁹⁾、逆走の場合は $V_B = 6$ km/h⁹⁾で走行するものとする。

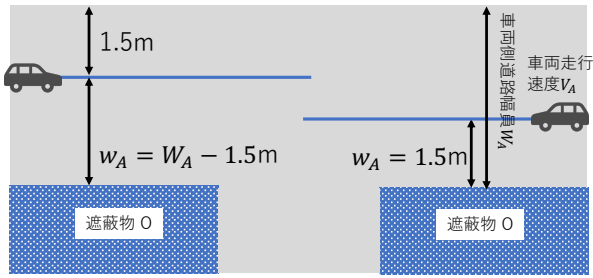


図4 車両走行位置模式図³⁾



図5 道路幅員測定方法³⁾

右側歩行・車両進行方向左と左側歩行・車両進行方向右の場合は $w_p = 0.375\text{m}$ となり、左側歩行・車両進行方向左と右側歩行・車両進行方向右の場合は $w_p = W_p - 0.375\text{m}$ となる。ここで、 W_p は歩行者側道路の道路幅員(m)である。

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

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

図6に計算パターン別の道路幅員の分布を示す。図の横軸は歩行者側および自転車側道路幅員、縦軸は車両側

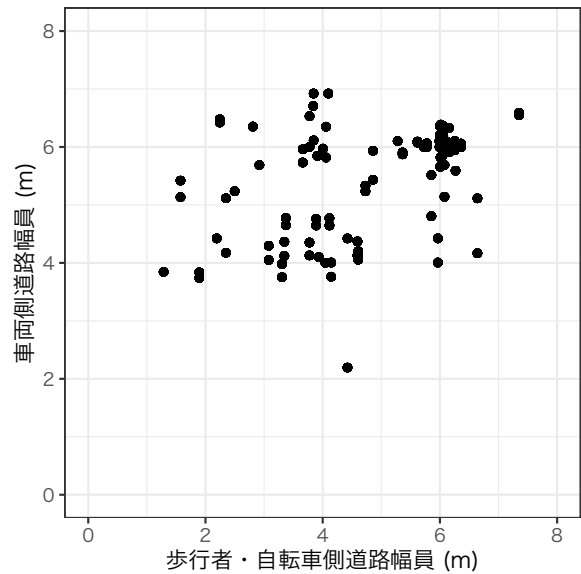


図6 道路幅員の分布⁴⁾

道路幅員である。車両側道路幅員は4mから7mに集中しているのに比べて、歩行者側および自転車側道路幅員はバラツキが大きいことが分かる。なお、道路幅員が5.5mを超える道路を含めて、全ての道路に中央線はなく、道路の利用状況に差異はない。

4. 結果と考察

図7に全3584パターンのうちPETが算出可能であった1218パターンについて、PETと車両側余裕距離の散布図を示す。図の横軸が車両側余裕距離、縦軸がPETである。

それぞれの定式化の際に述べたとおり、PET指標と車両側余裕距離はいずれも0に近いほど衝突の危険性が高く、絶対値が大きくなるほど衝突の可能性が低くなる。つまり、図の右下の原点に近いほど危険性が高い。以上を踏まえて再度図7を見ると、散布図は2本の明瞭な放物線と不明瞭な数本の放物線を含んでいるようにも見受けられる。それぞれの放物線がパレート効率的な性質を持つのか、あるいはそれ以外の関係性を有するのかについては現時点では未解明であり、今後解明を進める必要がある。

本研究では異なる定式化により導かれた2つの指標について、同一の計算条件によって指標の比較を試みた。興味深い関係性を示唆する結果となったが、未解明な部分が多く、より適切な生活道路の無信号交差点部の安全性評価に繋げていくことが今後の課題である。

参考文献

- 1) 高橋昭夫：ミクロ事故データを活用した四輪車の出会い頭事故の分析，自動車技術会論文集，Vol. 48，No. 6，pp. 1285–1290，2017。
- 2) 高橋昭夫：自転車と四輪車の出会い頭事故，イタル

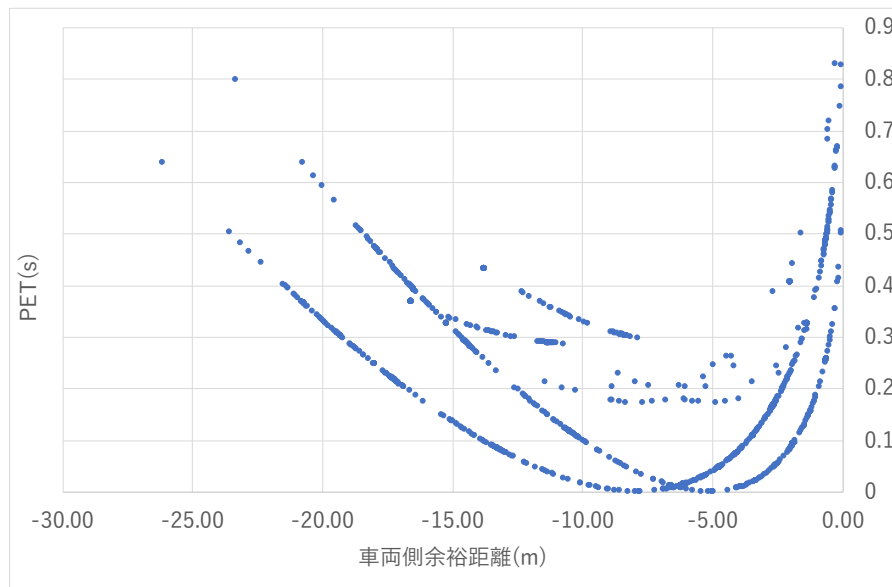


図7 PETと車両側余裕距離の散布図

ダイフォメーション, 交通事故総合分析センター, pp. 1-12, 2017.

- 3) 長谷川裕修, 伊藤菜, 田村亨: 生活道路の交差点部周辺における歩行者通行位置の安全性評価, 交通工学論文集, Vol. 6, No. 2, pp. A_71-A_77, 2020.
- 4) 長谷川裕修, 新屋敷学, 葛西誠, 田村亨: 自動運転車導入による生活道路交差点部周辺の出合い頭事故削減可能性の評価, 交通工学論文集, Vol. 7, No. 4, pp. A_55-A_64, 2021.
- 5) 若林拓史, 高橋吉彦, 新美栄浩, 蓮花一己: 交通流ビデオ解析システムを用いた交通コンフリクト分析と新しい危険度評価指標の提案, 土木計画学研究・論文集, Vol. 20, pp. 949-956, 2003.
- 6) Allen, B. L., Shin, B. T. and Cooper, P.: Analysis of Traffic Conflicts and Collisions., *Transportation Research Record*, No. 667, pp. 67-74, 1978.
- 7) 日本道路協会(編): 道路構造令の解説と運用 (改訂版), 丸善出版, 令和2年版, 2020.
- 8) 田中敦士, 奥住秀之: 小児歩行の発達的变化, *Equilibrium Research*, Vol. 55, No. 3, pp. 270-274, 1996.
- 9) 三谷哲雄, 山中英生: 細街路小交差点における自転車の通行挙動特性の把握, 平成25年度公益財団法人タカタ財団助成研究論文集, 公益財団法人タカタ財団, pp. 1-73, 2013.
- 10) 高島一彦, 古池弘隆, 森本章倫: 交差点における自動車の走行特性からみた交通事故の潜在的危険性に関する分析, 土木学会論文集, Vol. 716, No. IV-57, pp. 39-52, 2002.
- 11) 謝振宇, 星野一輝, 山本俊雄, 小嶋文, 久保田尚: 歩行者・自転車事故の個別的事故分析に基づく自動運転の事故軽減効果計測手法等の研究開発, 交通工学論文集, Vol. 6, No. 4, pp. A_63-A_70, 2020.
- 12) 江守一郎: 自動車事故工学, 技術書院, 1974.