

左折車に着目した信号交差点通行時の 心理的逼迫感の定量分析

山口 大輔¹・鈴木 弘司²・藤田 素弘³

¹正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ 技師 (〒151-0071東京都渋谷区本町3-12-1)
E-mail: yamaguchi-di@oriconsul.com

²正会員 名古屋工業大学大学院准教授 工学研究科 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)
E-mail: suzuki.koji@nitech.ac.jp

³正会員 名古屋工業大学大学院教授 工学研究科 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)
E-mail: fujita.motohiro@nitech.ac.jp

本研究では、大規模交差点にてビデオ観測調査を実施し、映像から得られた利用者挙動データに基づき、交差点構造と左折車間の追突危険性・横断者左折車間の交錯危険性の関係について分析した。また、交差点通行時の心理的逼迫感を評価するために逼迫度数指標を提案し、定量分析を行った。さらに、左折車間の追突危険性と横断者左折車間の交錯危険性を総合的に評価するために、逼迫度数指標に基づく交差点通行リスク指標を提案し、左折車通行時のリスクについて分析した。その結果、調査交差点における危険性の高いエリアは、車線交差角が鋭角・直角の場合には横断歩道上、鈍角の場合には停止線付近や自転車横断帯上にも存在することがわかった。

Key Words : users' stringency, traffic conflict, left-turning vehicle, intersection geometry, traffic safety

1. はじめに

わが国における平成23年中の交通死亡事故件数は4611件であり、その数字は11年連続で減少傾向にある¹⁾。交通事故の発生場所としては、交差点および交差点付近の事故がおよそ半数を占めており²⁾、交差点での安全対策が求められている。今後も交差点部において安全対策を効果的に講じる必要があるが、そのためには交差点構造と通行時の危険性の関係について、定量的に評価する手法の確立が必要不可欠である。

そこで本研究では、利用者挙動に基づき、左折車間の追突危険性、横断者左折車間の交錯危険性の観点から構造の違いによる交差点通行時の危険性を明らかにする。そのため、観測調査を行い、横断者挙動特性、左折車両の走行特性を把握し、車両間、歩車間の危険事象について、追突危険性、交錯危険性が高くなる構造要因を解明する。さらに、逼迫度数指標により、利用者の心理的逼迫感を定量化するとともに、車両間の追突危険性、歩車の交錯危険性を総合的に評価するための交差点通行リスク指標を提案し、調査交差点の安全性について検証する。

2. 調査概要

(1) 調査概要、交差点の運用形態および構造特性

本研究では、名古屋市中区の千郷町交差点、名古屋市中村区の本陣通3交差点（以降、C）、名古屋市南区の港東通交差点（以降、D）、名古屋市瑞穂区の新瑞橋交差点（以降、E）において観測調査を行い、映像データを取得した。千郷町交差点では2007年3月に交差点構造改良事業が実施されており、今回の分析では改良前（以降、A）と改良後（以降、B）で構造の異なる2交差点として扱う。交差点選定に際しては、交差点構造が利用者にも与える様々な影響を定量化するために、多車線道路が交差し、車線交差が鋭角から鈍角までの状態を含むこと、横断者の利用が多く見込まれる鉄道駅周辺に位置すること等に配慮している。また、本稿では映像の制約より、各交差点二つの横断歩道について分析する。Aでは北部横断歩道（以降、A_N）、東部横断歩道（以降、A_E）、Bでは北部横断歩道（以降、B_N）、東部横断歩道（以降、B_E）、Cでは西部横断歩道（以降、C_W）、南部横断歩道（以降、C_S）、Dでは東部横断歩道（以降、D_E）、南部横断歩道（以降、D_S）、Eでは北部横断歩道（以降、E_N）、西部横断歩道（以降、E_W）にそれぞれ着目する。

表-1 調査概要

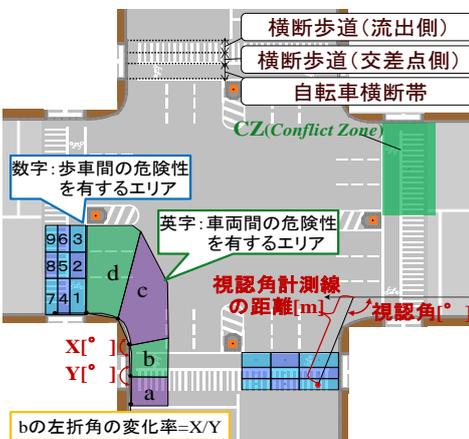
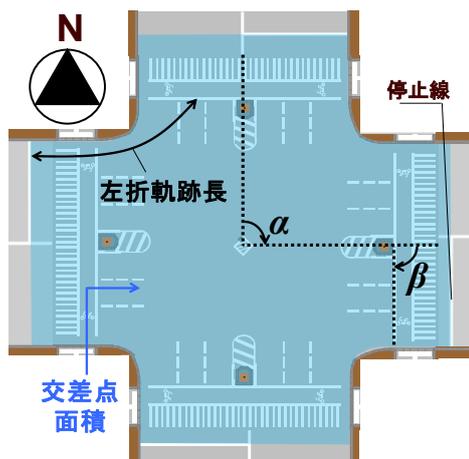
分析映像日時	(A)2004年9月28日	10:35~11:35(A _N)
		12:55~13:55(A _E)
	(B)2008年9月24日	10:30~11:30(B _N)
		12:40~13:40(B _E)
	(C)2008年10月15日	11:00~12:00(C _W *C _S)
撮影箇所	(D)2008年10月30日	11:00~12:00(D _E *D _S)
	(E)2011年8月3日	12:00~13:00(E _N *E _W)
調査内容	・交差点に隣接する歩道からの横断歩道撮影 ・交差点に隣接する歩道からの信号現示撮影 ・交差点周辺施設上部からの交差点内撮影	
	・車両挙動 ・横断者の挙動 ・信号現示	

N	1φ	2φ	3φ	Y1	4φ	Y2	AR1	5φ	Y3	AR2	6φ	7φ	8φ	Y4	AR3	
	A	33	10	2	4	8	2	6	24	4	5	21	10	2	4	5
	B	30	10	2	4	6	2	5	20	3	7	21	9	2	4	5
N	1φ	2φ	3φ	Y1	4φ	Y2	AR1	5φ	6φ	7φ	Y3	8φ	Y4	AR2		
	C	43	10	2	4	9	2	5	28	8	2	3	7	2	5	
	D	28	10	2	3	9		5	52	10	2	4	20		5	
E	33	8	8	3	13	2	5	28	8	2	3	20		2	5	

車両用信号 青 横断者用信号 青 横断者用信号 点滅
 図-1 現示階梯図[単位:秒]

表-2 交差点構造特性

	左折軌跡長 [m]	交差点面積 [m ²]	車線交差角 α [°]	横断歩道設置角 β [°]	車線数	
					流入部 (直/左混用, 直進, 直/右混用, 右折専用)	流出部
A _N	38.8	3168.6	110	74	3(1, 1, 1, 0)	2
A _E	15.9		47	87.5	4(1, 2, 0, 1)	3
B _N	28.5	2167.3	110	56	3(1, 1, 1, 0)	2
B _E	15.0		47	122	4(1, 2, 0, 1)	3
C _W	13.6	1664.1	47	131	3(1, 1, 0, 1)	2
C _S	37.5		132	49	3(1, 1, 0, 1)	2
D _E	30.1	2756.7	65	110	4(1, 2, 0, 1)	3
D _S	27.8		111	69	4(1, 2, 0, 1)	3
E _N	27.5	2134.8	88	88.5	4(1, 2, 0, 1)	3
E _W	27.8		92.5	88.5	3(1, 1, 0, 1)	3



ここで、調査概要を表-1に、現示階梯図を図-1に、交差点構造特性を表-2に示す。なお、図-2は表-2における交差点構造諸量の計測位置を示している。

図-1より、信号制御条件については、各交差点のサイクル長は130-150[s]であり、黄色、全赤時間は交差点により異なる箇所がある。特に、Bの6φ直前には7[s]の全赤時間が設定されており、Dでは右折矢表示と全赤表示の間に黄表示が挿入されていないことがわかる。さらに、Dの8φ、Eの4φ、8φでは他の交差点に比べ、長い右折矢表示が設定されている。また、A、Bの5φでは、南部から流入する車両に対して歩車分離制御がなされており、横断歩道上での歩車の動線が分離されている。

表-2より、交差点構造の特徴として、左折軌跡長はA_Nで最も長くなっていることがわかる。交差点面積より、Aが最も大きく、Cが最も小さい交差点であることが確認できる。また、車線交差角、横断歩道設置角より、E以外の交差点は直交していないことがわかる。さらに、A_N、B_Nでは、右折専用車線が設置されていない。

(2) 調査交差点における利用者特性

本稿で用いる交差点構造の定義を図-3に、各横断歩道における単位時間当たりの歩行人数、自転車台数、左折車両数、CZ上の各利用主体の平均速度を表-3に示す。

表-3 分析対象横断歩道利用者特性

	歩行人数 [人/h]	CZ上での歩行者平均速度 [m/s]	自転車台数 [台/h]	CZ上での自転車平均速度 [m/s]	左折車両数 [台/h]	CZ上での左折車平均速度 [km/h]
A _N	122	1.35	48	3.11	127	18.6
A _E	238	1.38	62	2.70	82	15.8
B _N	100	1.55	43	3.74	80	16.0
B _E	219	1.34	106	2.79	75	14.5
C _W	42	1.31	152	2.28	22	16.0
C _S	56	1.56	217	2.78	163	24.9
D _E	50	1.27	78	2.65	247	19.3
D _S	22	1.41	22	3.34	206	21.2
E _N	219	1.69	91	3.30	100	19.9
E _W	191	1.51	146	3.02	194	15.5

本研究では、危険なエリアを特性するために図-3のようにエリアを分割し、エリアa-dを車両間の危険性、エリア1-9を歩車間の危険性を有するエリアと定義する。

表-3より、歩行者人数は、 A_E 、 B_N 、 E_N 、 E_W で多く、また、自転車台数は、 C_W 、 C_S 、 E_W で多いことがわかる。一方、左折車では D_E の時間交通量が多く、 C_W の時間交通量が少ないことが読み取れる。さらに、Dでは他の交差点に比べ、大型車混入率が高い値を示している。また、平均速度については、歩行者は、 B_N 、 C_S 、 E_N 、 E_W で、自転車は、 B_N 、 D_S 、 E_N で高くなっていることがわかる。一方、左折車は C_S 、 D_S で高い速度で走行している。

3. 左折車両間の追突危険性に関する分析

本章では、PICUD指標³⁾を用いて交差点内における左折車の追突危険性について分析する。PICUDとは前方を走行する車両が急減速した場合に、後続車両が反応の遅れを伴いながら急減速を行い、停車した際の車両間の距離を表し、式(1)で定義される。

$$PICUD(t) = \frac{V_1(t)^2}{2a_1} - \left(V_2(t)\Delta t + \frac{V_2(t)^2}{2a_2} \right) + s_0(t) \quad (1)$$

ここで、

- $V_1(t)$: 先行車の減速開始時の速度[m/s],
- $V_2(t)$: 先行車減速開始時の後続車の速度[m/s],
- $s_0(t)$: 先行車減速開始時の車間距離[m],
- a_1, a_2 : 減速率[m/s²],
- Δt : 反応遅れ[s]

である。

今回の分析では、停止線から左折後の自転車横断帯までを計測区間としている。さらに、計測区間に2台と3台の車両群が通過しているケースについてデータを取得し、2台のケースでは先行車と後続車、3台のケースでは中央車と後続車を分析対象車両とする。PICUD値は、後続左折車が停止線を通過してから1秒ごとの分析対象車両の速度、車間距離を計測し、その値を用いて算出し、両車両の速度がゼロになった場合、そこで計測を終了している。減速率は、先頭車の急ブレーキに伴って中央車と後続車が急ブレーキをした際を仮定し、「5.6m/s²」とし、反応遅れは「0.7s」と設定している。今回、分析対象車両群に二輪車、二重左折車、直進車が混入したケースは分析から除外し、また、 A_N は映像から停止線が確認できないこと、 B_E は A_E と隅角部の形状が類似していること、 C_W は極端に交通量が少ないことから分析対象外としている。なお、本研究では、各分析対象車両群においてPICUDが最小となったケース（以降、最小PICUD）を抽出し、分析に用いている。

表-4 各エリアでの最小PICUDの観測数、平均値、標準偏差

		A_E	B_N	C_S	D_E	D_S	E_N	E_W
N	a	4	1	6	7	1	4	16
	b	13	8	12	27	25	7	28
	c	12	9	19	51	58	11	24
	d	3	11	17	13	37	6	15
平均値	a	0.4	2.0	2.8	1.2	3.4	1.8	2.3
	b	1.4	2.6	2.4	1.2	2.0	2.7	3.3
	c	0.8	1.7	3.4	2.0	2.9	0.8	2.5
	d	2.1	4.0	1.9	1.8	2.8	2.9	3.6
標準偏差	a	0.4	-	1.2	0.7	-	0.3	1.4
	b	1.5	3.1	2.0	1.8	1.3	2.5	2.4
	c	1.7	1.3	2.9	2.4	2.3	2.1	3.1
	d	1.2	2.8	3.6	2.3	2.6	2.5	2.3

表-5 PICUD値推計モデルのパラメータ推定結果

	非標準化係数	t
(定数)	9.5153	4.14
交差点面積[m ²]	-0.0007	-2.26
エリアダミー(エリアd:1, その他:0)	1.1996	3.13
左折軌跡長[m]	-0.0545	-1.92
左折角の変化率[%]	-4.6028	-2.22
鈍角ダミー(100° ≤ α :1, その他:0)	0.5567	2.02
R	0.749	
調整済みR ²	0.461	
P	0.002	
N	28	

(1) 各エリアにおける追突危険性の特性

図-3で定めた停止線通過から自転車横断帯までのエリアa-dでの追突危険性を横断歩道別に比較する。

エリアa-dでの最小PICUDの観測数N、平均値、標準偏差を表-4に示す。なお、表中の観測数、標準偏差の網掛は各横断歩道の最大値、平均値の網掛は最小値を表す。

表-4より、観測数は、エリアcで7横断歩道中4横断歩道と最も多く観測されている。平均値は、最小となるエリアが様々であり、エリアdで比較的高い値を示している。また、標準偏差より、エリアb-dで値が大きくばらついているが、エリアaではあまりばらついていない。

(2) 重回帰分析による左折時危険性のモデル化

左折車間の追突危険性に影響を与える構造要因を明らかにするため、前節で求めた各エリアでの最小PICUDの平均値を目的変数とした重回帰分析を行う。PICUD値推計モデルのパラメータ推定結果を表-5に示す。

表-5より、R²は0.461と分析の精度は十分高いとはいえないが、有意確率は有意水準α=0.05より小さい値であり、モデルの有意性は示されている。よって、本モデルよりPICUD値と構造要因の関係を考察する。

「左折角の変化率[%]」のパラメータが負であることから、曲線半径が急に小さくなるエリアで追突危険性が高いことがわかる。また、「エリアダミー(エリアd:1, その他:0)」のパラメータが正であることから、エリアdは他のエリアと比べて追突危険性は低いといえる。これは、先行車がエリアdを走行中には、後続車は曲線

半径の小さなエリアを走行していることとなるため、後続車の速度に対して先行車の速度が大きくなることが要因と推察される。さらに、「左折軌跡長[m]」、「交差点面積[m²]」のパラメータが負であることから、左折軌跡長が長いほど、交差点面積が大きいほど、各エリアのPICUD値は低くなる傾向が読み取れる。また、「鈍角ダミー(100° ≤ α : 1, その他 : 0)」のパラメータが正であることから、左折車の走行軌跡が鈍角となる場合にはPICUD値が大きくなることを確認できる。

4. 横断者左折車間の交錯危険性に関する分析

本章では、交錯を起こす二者が、交錯地点を通過する時刻差として定義されるPET指標⁴⁾を用いて、横断者と車両の交錯危険性について検討する。なお、流入部から交錯地点までの距離を考慮し、3.0[s]以内のPET値に着目して分析を行う。本研究では、車両が先に交錯地点を通過する車両先行ケースと横断者が先に交錯地点を通過する横断者先行ケースの2つの交錯を同様に扱っている。

(1) 各エリアにおける交錯危険性の特性

図-3で定めた自転車横断帯、横断歩道上のエリア1-9での交錯危険性を比較する。

エリア1-9でのPETの観測数N、平均値、標準偏差を表-6に示す。なお、表中の観測数、標準偏差の網掛は各横断歩道の最大値、平均値の網掛は最小値を表す。

表-6より、観測数は、A_Eではエリア7、B_E、D_Eではエリア4に集中していることがわかる。エリア4、7は隅角部付近に位置することから、車両が左折車線進行中に横断者を視認しづらいエリアで交錯事象が多く発生しているといえる。さらに、A_Nのエリア8、C_Sのエリア5、E_Wのエリア2においても交錯事象が多く発生している。これらのエリアは隅角部と中央分離帯の中心のエリアであり、左折車両の走行軌跡が集中したと考えられる。平均値については、隅角部と中央分離帯の中心となるエリア2、5、8および横断歩道(流出側)のエリア7、8、9にて低くなる傾向が読み取れる。また、標準偏差より、エリア2、5、6、7、9で大きくばらついている。

(2) 重回帰分析による交錯危険性のモデル化

横断歩道上での交錯事象について、交錯危険性に与える影響要因を解明するために、前節で算出した各エリアでのPETの平均値を目的変数とした重回帰分析を行う。PET値推計モデルのパラメータ推定結果を表-7に示す。

表-7より、R²は0.208と分析の精度は低いが、有意確率より、モデルの有意性が認められるため、本モデルを採択している。

表-6 各エリアでのPETの観測数、平均値、標準偏差

	A _N	A _E	B _N	B _E	C _W	C _S	D _E	D _S	E _N	E _W	
N	1	-	-	0	15	4	5	9	0	6	13
	2	-	-	1	3	1	6	7	6	0	17
	3	-	-	0	0	0	0	0	1	2	6
	4	3	20	2	22	6	5	23	1	7	10
	5	10	9	4	7	5	32	21	8	8	16
	6	3	3	2	1	0	1	0	2	4	5
	7	7	27	4	8	2	5	17	1	5	9
	8	22	7	6	3	1	10	5	6	4	6
	9	6	3	3	0	1	3	1	3	0	2
平均値	1	-	-	-	2.1	2.1	2.1	2.1	-	2.5	2.2
	2	-	-	0.3	2.1	2.5	1.7	2.1	1.9	-	2.1
	3	-	-	-	-	-	-	-	2.5	2.0	2.4
	4	1.4	2.1	2.8	2.1	2.3	2.1	2.0	2.2	1.8	2.1
	5	1.8	1.9	1.9	1.8	2.4	1.9	1.8	1.5	2.4	2.2
	6	2.2	1.9	1.8	1.6	-	2.9	-	2.4	2.2	2.6
	7	1.4	2.2	2.2	1.5	1.9	2.5	1.9	3.0	1.8	1.9
	8	2.0	1.8	2.5	1.8	2.3	2.2	2.2	1.7	2.6	2.5
	9	1.3	2.2	1.7	-	1.6	2.1	2.4	2.2	-	2.6
標準偏差	1	-	-	-	0.5	0.3	0.5	0.5	-	0.2	0.6
	2	-	-	0	0.4	0	0.7	0.6	0.5	-	0.7
	3	-	-	-	-	-	-	-	0	0.2	0.7
	4	0.5	0.6	0.1	0.5	0.5	0.5	0.6	0	0.6	0.5
	5	0.8	0.6	0.3	0.5	0.3	0.6	0.7	0.6	0.5	0.4
	6	0.8	0.9	0.7	0	-	0	-	0	0.6	0.5
	7	0.7	0.7	0.2	0.4	0.9	0.2	0.6	0	0.8	0.7
	8	0.9	0.5	0.3	0.1	0	0.5	0.5	0.6	0.2	0.3
	9	0.9	0.9	0.3	-	0	0.3	0	0.2	-	0.3

表-7 PET値推計モデルのパラメータ推定結果

	非標準化係数	t
(定数)	2.1188	4.31
交差点面積[m ²]	-0.0002	-2.01
横断歩道設置角(90-βの絶対値)[°]	-0.0075	-2.26
視認角[°]	0.0114	3.11
視認角計測線の距離[m]	-0.0229	-2.39
交錯横断者の速度の平均値[m/s]	-0.1776	-2.41
エリアダミー(エリア2:1, その他:0)	-0.3712	-2.42
R	0.513	
調整済みR ²	0.208	
P	0.001	
N	72	

「視認角[°]」のパラメータが正、「視認角計測線の距離[m]」のパラメータが負である。視認角が大きく、また視認角計測線の距離が短いと、左折車線進行中に横断歩道上の横断者を早期発見し、減速挙動を取りやすいと考えられる。その結果、PET値が大きくなったと推察できる。また、「エリアダミー(エリア2:1, その他:0)」のパラメータが負であることから、エリア2で接近事象が生じるとPET値が小さくなる傾向が読み取れる。「交錯横断者の速度の平均値[m/s]」のパラメータが負であり、横断者の速度が高いとPET値は小さくなることがわかる。これは、速度の高い横断者ほど交錯地点から早く遠ざかるため、結果的に車両との通過時刻差が小さくなっていると考えられる。さらに、「交差点面積[m²]」、「横断歩道設置角(90°-βの絶対値)」のパラメータが負であることから、交差点面積が小さくなるほど、横断歩道設置角が垂直に近づくほどPET値が大きくなることがわかる。

5. 逼迫度数に関する分析

本章では、交差点通行者の心理的負担度合いを定量的に評価するために、PICUD指標、PET指標にもとづいた逼迫度数指標を提案し、分析を行う。

図-4に示すように交差点を通行する際に、利用者は他者との理想的な距離感を保ちながら通行していると考えられる。しかしながら、前方車両が横断歩道直前にて急ブレーキしたり、横断歩道上にて他者が急接近すると、他者との距離が急激に小さくなるため、利用者は心理的に逼迫感を感じていると推測される。これらを数値化するために、本研究では逼迫度数 ST (stringency) を「利用者が許容している最接近距離に対する他者が利用者に及ぼす接近距離の比率」と定義し、エリアa-dにおける車両間の逼迫度を式(2)、エリア1-9における歩車間の逼迫度を式(3)で算定できるものとする。

$$ST_X = PICUD(t) / s_0(t) \quad (2)$$

$$ST_X = l_1 / l_2 = V_1 PET / V_2 PET \quad (3)$$

ここで、

ST_X : エリアXにおける逼迫度数,

$PICUD$: 停車時の車間距離[m],

s_0 : 走行時の車間距離[m],

t : 最小PICUD観測時の停止線通過後経過時間[s],

PET : 交錯する二者の交錯地点を通過する時刻差[s],

V_1 : 先行利用者の横断歩道上速度[m/s],

V_2 : 後行利用者の横断歩道上速度[m/s]

である。

車両間の逼迫度は、 $-\infty \sim +\infty$ を表す指標である。逼迫度数=1では、前方車が急ブレーキしても理想的な車間距離で停車できることを表しており、逼迫度数が1未満では、後続車両は逼迫感を感じていることとなる。さらに、逼迫度数が負となる場合には、計算上は追突していることを意味する。つまり、車両間の逼迫度は数値が低いほど、利用者の逼迫感が高いことを意味する。

また、歩車間の逼迫度は、 $0 \sim +\infty$ の値を取る指標であり、逼迫度数=1は、先行利用者が想定した距離だけ、後行利用者が接近したことを意味する。つまり、逼迫度数が1未満では、先行利用者の考えていた距離よりも後行利用者が接近したことを表すため、先行利用者は逼迫感を感じており、車両間の逼迫度数と同様に数値が低いほど、高い逼迫感を感じていることとなる。なお、単位は車両間、歩車間の逼迫度数ともに無次元量である。

ここで、エリア a-d における車両間の逼迫度数の平均値を図-5に、エリア 1-9 における歩車間の逼迫度数の平均値を図-6、図-7、図-8に示す。なお、図中の青丸は各エリアの平均値を、エラーバーは標準偏差を表す。

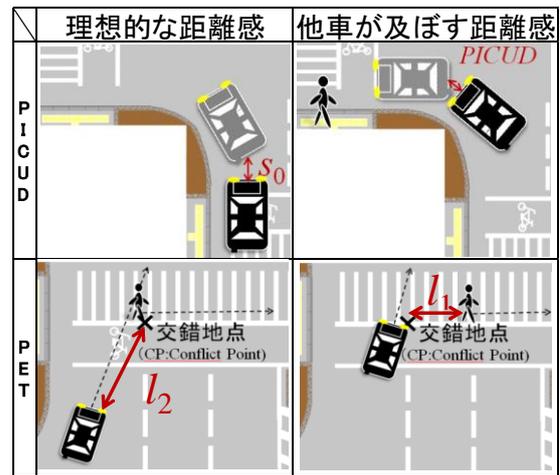


図-4 逼迫度数の概念

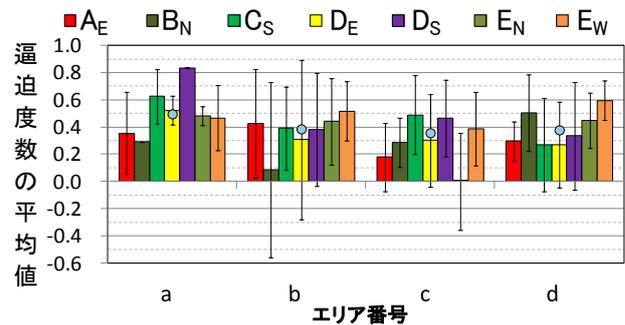


図-5 エリアa-dにおける車両間の逼迫度数の平均値

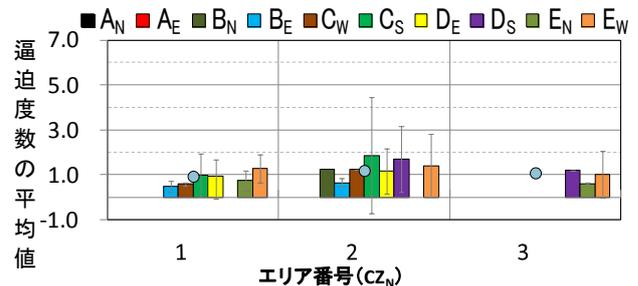


図-6 エリア1-3における歩車間の逼迫度数の平均値

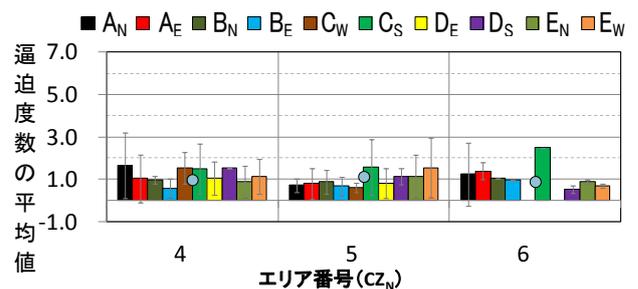


図-7 エリア4-6における歩車間の逼迫度数の平均値

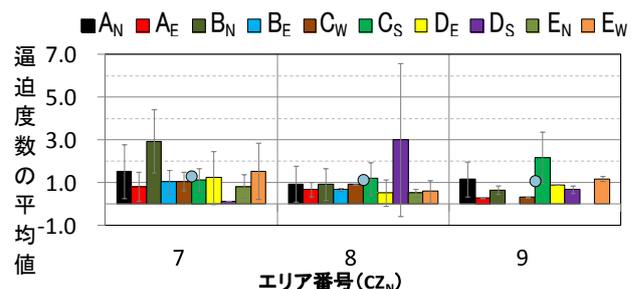


図-8 エリア7-9における歩車間の逼迫度数の平均値

図-5より、エリアごとと比較すると、 B_N ではエリアb, A_E , E_N , E_W ではエリアc, C_S , D_E , D_S ではエリアdで車両間の逼迫度が低くなっている。また、 B_N のエリアb, E_N のエリアcにおいて、特に逼迫度の平均値が低く、標準偏差が大きいことから、これらのエリアで強い逼迫感を受けているケースが含まれることがわかる。さらに、全てのエリアにおいて逼迫度が1未満であることから、左折時に前方車両が急ブレーキすると、どの交差点でも利用者は多少の逼迫感を感じる事がわかる。

図-6, 図-7, 図-8より、 B_N のエリア7, C_S のエリア6, D_S のエリア8では歩車間の逼迫度が高くなっていることから、上記エリアでは利用者は安心して通行していると考えられる。また、72エリア中36エリアで逼迫度の平均値が1未満となっていることから、半数のエリアにて利用者は横断歩道通行中に多少の逼迫感を抱いていることがわかる。特に、 D_S のエリア7では逼迫度の平均値が0.14と非常に低い値となり、高い逼迫感を感じていることがわかる。さらに、横断歩道別に見てみると、逼迫度が小さくなるエリアは横断歩道によって異なっていることが確認できる。また、エリア3は左折車両の走行軌跡と重ならない位置に設置されているため10横断歩道中3横断歩道しか逼迫度が観測されていないこともわかる。さらに、標準偏差より、 C_S のエリア2, D_S のエリア8で高い値を示し、逼迫度の高い状況から低い状況まで発生していることがわかる。

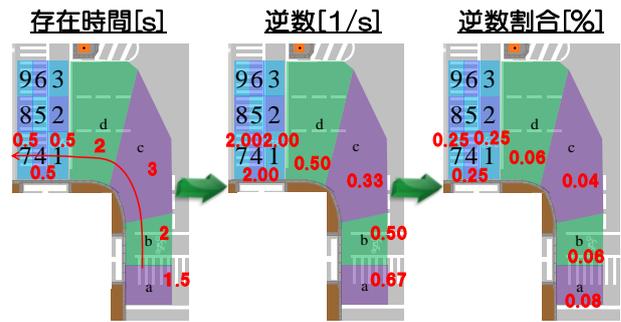


図-9 存在時間の逆数割合の算出過程

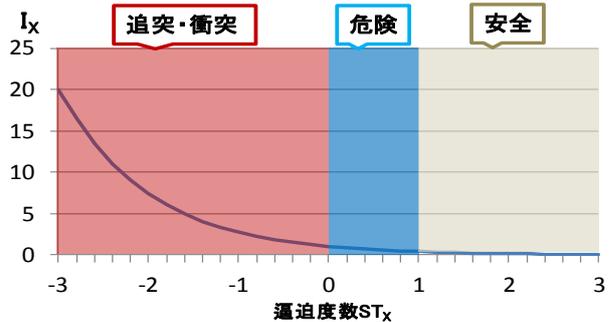


図-10 逼迫度の重みづけ方法

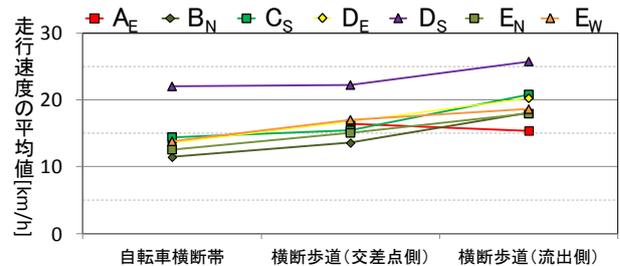


図-11 各区間における左折車の走行速度の平均値

6. 交差点通行リスク指標による危険性分析

本章では、左折車間の追突危険性と横断者左折車間の交錯危険性を総合的に評価するために、交差点通行リスク指標を提案し、交差点ごとの危険性を評価する。

交差点通行リスクとは1[台]の車両が停止線を通り過ぎてから横断歩道を流出するまでの間、つまり交差点を通行している間に、潜在的に有している危険度合いを定量化したもので、期待値の考え方⁵⁾を援用し、逼迫度と存在時間により式(4)で定義する。

$$E_n = \sum_{X=a}^9 (P_X \times I_X) \quad (4)$$

$$I_X = \exp(-1 \times ST_X) \quad (5)$$

ここで、

- E_n : 車両番号 n の交差点通行リスク,
- P_X : エリア X における存在時間の逆数割合[%],
- I_X : 逼迫度を重みづけした値,
- ST_X : エリア X における逼迫度数,
- X : エリア番号 (a~d, 1~9)

である。

式(4)内のエリア存在時間の逆数割合 P_X とは、図-9に示すように、車両が左折する際の各エリアにおける存在時間の逆数を算出し、割合を算出したものである。このようにすることで、存在時間が短いエリア、つまり、速度が高いエリアでは逆数割合が高くなるように設定している。また、交差点通行リスク算出にあたって、逼迫度数 ST_X は 0 以下では追突・衝突, $0 < ST_X < 1$ では危険, $1 \leq ST_X$ では安全を示す指標であり、 ST_X の値をそのまま用いることは適当でないと考えられる。そこで、図-10に示すように逼迫度数に-1 を乗じて指数関数で表現することにより、「追突」、「危険」、「安全」と三段階に重みづけできるように設定している。関数の形状のさらなる検討は今後の課題とする。なお、 I_X は、各エリアが潜在的に有している危険度合いと仮定しているため、横断歩道別で同じ値を用いている。また、本稿の分析では、分析対象車両は PET 値あるいは PICUD 値を観測した車両としている。また、 A_N , B_E , C_W では PICUD 値を算出していないため、分析から除外している。

逼迫度数算出に用いる図-3上部破線区間におけるPET値あるいはPICUD値を観測した左折車両について、走行速度の平均値を図-11に、各横断歩道における左折車1台

当たりの交差点通行リスクの平均値を図-12に、各横断歩道の交差点通行リスクの平均値について危険なエリア順にランク付けしたものを表-8に示す。なお、図-12のエラーバーは標準偏差を、表-8の赤色のセルは危険なエリア5つ、青色のセルは最も安全なエリアを表す。

図-11より、A_Eでは速度が低下する前に横断歩道へ進入し、その他の横断歩道では流出に向けて加速している。

図-12より、C_Sで平均値が最も低く、標準偏差が小さいことから、今回分析対象とした交差点の中では左折車にとって最も安全な状況で運用されているといえる。

また、表-8より、危険なエリア5つは、車線交差角が鋭角、直角では、横断歩道上であるのに対して、鈍角では停止線通過から自転車横断帯手前や自転車横断帯上にもリスクが存在していることが読み取れる。また、最も危険なエリアは、A_E、B_Nでエリア9、C_Sでエリア7、D_E、E_N、E_Wでエリア8、D_Sでエリア6であることが確認できる。これは、図-11に示すように自転車横断帯直前で停止した車両は、横断歩道流出に向けて再加速する。その結果、エリア7、8、9で速度が高くなり、エリア7、8、9でのリスクが高くなると考えられる。D_Sでエリア6が最も危険なエリアと要因は、図-11に示すように他の横断歩道と比べて速度が高いことが一因と推察される。

また、最も安全であるエリアは、A_E、D_E、E_N、E_Wではエリアd、B_Nではエリア7、C_Sではエリア6、D_Sではエリア8である。車両が横断歩道を通過する際に横断者がいる場合には、原則的に直前で停止が義務付けられているが、車線交差角が鈍角の場合には、速度低下を嫌がり、停止せずに横断歩道に進入している車両が存在している。そのため、鈍角では自転車横断帯直前のエリアdが最も安全なエリアにならなかったと推察される。

以上のことから、車線交差角が鋭角あるいは直角となるA_E、D_E、E_N、E_Wでは、横断歩道流出付近が危険となり、横断歩道進入直前が最も安全となる。また、車線交差角が鈍角となるB_N、C_S、D_Sでは、様々なエリアで危険となっていることがわかる。これは、車線交差角が鈍角となる場合には、鋭角あるいは直角となる場合に比べ、走行速度を落とすことなく横断歩道進入することが可能となるため、存在時間の逆数割合が高いエリアで交差点通行リスクが高くなっている。

7. まとめ

本研究では、大規模交差点にて観測調査を実施し、交差点構造が左折車両間の追突危険性、横断者左折車両の交錯危険性に与える影響について分析した。

本研究より得られた知見を以下に示す。

- ・曲線半径が急に小さくなるエリアでの追突危険性が高

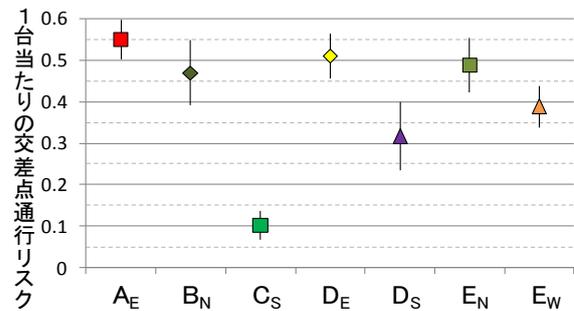


図-12 左折車1台当たりの交差点通行リスク

表-8 各エリアにおける危険ランク

		a	b	c	d	1	2	3	4	5	6	7	8	9
鋭角	A _E	7	9	6	10	-	-	-	5	4	8	3	2	1
	D _E	10	6	8	11	7	9	-	4	3	-	5	1	2
直角	E _N	9	10	6	11	7	-	8	3	5	4	2	1	-
	E _W	8	9	12	13	10	11	7	4	6	2	5	1	3
鈍角	B _N	5	4	8	10	-	9	-	6	3	7	11	2	1
	C _S	6	2	3	9	5	11	-	7	8	12	1	4	10
	D _S	11	8	9	10	-	7	5	6	4	1	2	12	3

く、また、左折軌跡長が長いほど、交差点面積が大きいほど、PICUD値は小さくなる。

- ・左折車線進行中に横断者を早期発見すると交錯危険性が低く、さらに、交差点面積が小さいほど、横断歩道設置角が直角に近づくほど、PET値が大きくなる。
- ・前方車両が急ブレーキすることで感じる利用者の逼迫感、横断歩道上での交錯時に感じる逼迫感より高い。
- ・車線交差角が鋭角・直角では、一定の範囲にリスクが集中し、鈍角では様々なエリアにリスクが分散する。

今後の課題として、より詳細に構造の影響を評価するため、調査交差点数、調査時間帯を増やす必要である。また、今回構築したPET推計モデルの精度向上を図るとともに、各利用者のPET値、PICUD値推計モデルも構築し、構造改良時の安全性向上効果を詳細に検証する。

参考文献

- 1)警察庁HP統計、平成23年中の交通事故死者数について、<http://www.npa.go.jp/toukei/index.htm#koutsuu>
- 2)警察庁HP統計、平成23年上半期の交通死亡事故の特徴及び道路交通法違反取締状況について、<http://www.npa.go.jp/toukei/index.htm#koutsuu>
- 3)飯田恭敬、宇野伸宏、井坪慎二、菅沼真澄:織込み部におけるコンフリクト分析と車線変更のモデル化、土木計画学研究・講演集No.24(1)、pp305-308、2001
- 4)Allen, B.L., Shin, B.T. and Cooper, D.J.: Analysis of traffic conflicts and collision, *Transportation Research Record*, No.677, pp.67-74, 1978.
- 5)日本リスク研究会：リスク学事典、TBSブリタニカ、375p、2000.

(2012.5.7 受付)