

信号交差点横断歩道における左折車の譲り挙動と交錯危険性に関する分析

井上 卓磨¹・鈴木 一史²

¹学生会員 元 群馬工業高等専門学校専攻科（現 横浜国立大学大学院 都市イノベーション学府）

〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町580 E-mail: pinpon.seikai.0921@gmail.com

²正会員 群馬工業高等専門学校 環境都市工学科 准教授（〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町580）

E-mail: ksuzuki@cvt.gunma-ct.ac.jp

信号交差点の横断歩道上では、歩行者信号が青時間中であるにも関わらず、ドライバーが歩行者を譲らずに右左折することで、危険な交錯が発生するケースが散見されている。危険な交錯を抑制し、横断歩行者の安全性を高めるには、ドライバーの歩行者に対する譲り挙動を誘発するような道路の空間設計が重要である。本研究では、詳細な軌跡データに基づいて車両と横断者の中で生じた交錯事象を抽出し、信号交差点横断歩道におけるドライバーの譲り挙動に影響を及ぼす要因を二項ロジットモデルにより分析した。その結果、ドライバーの横断者に対する視認性や車両速度などが影響していることが明らかとなった。

Key Words : *traffic safety, crosswalk, conflict, yielding behavior, priority violation*

1. はじめに

2019年の警察庁統計¹⁾によると、人対車両死亡事故の約6割が交差点で発生しており事故類型別の事故発生状況に着目すると、その約7割が横断中に発生している。これらの交通事故が発生する要因としては、右左折時のドライバーによる見落としや不注意、歩行者等優先通行の無視、また駆け込み進入などの歩行者の危険行為が挙げられる^{例えは2)}。道路交通法第38条によれば、横断歩道においては、歩行者等に優先権があるが、一般に歩行者信号が青時間中であるにも関わらず、ドライバーが横断中もしくは横断しようとする歩行者を譲らずに右左折することで、危険な交錯が発生するケースが散見されている。この問題に対する改善策としては、歩車分離による信号制御が有用であるが、歩行者交通需要が少ないときには遅れが増大するという課題があることが指摘されている³⁾。危険な交錯を抑制し、交差点における歩行者の安全性を高めるためには、円滑性の確保も勘案した、譲りを誘発するような道路空間の設計が重要といえよう。

ドライバーの譲り挙動に着目した研究として、Fu *et al.*⁴⁾は、譲り挙動の発生率の差異を複数の交差点間で比較しており、井料ら⁵⁾は、歩行者とドライバーとのコミュニケーションの有無が譲り挙動に及ぼす影響について分析している。しかしながら先行研究では、ドライバーの譲り挙

動に道路構造および交通状況がどのような影響を与えるのかについては十分に明らかになっていないのが現状である。そこで本研究では、信号付き横断歩道におけるドライバーの譲り挙動を観測し、譲りの有無に影響を及ぼす要因を統計モデル分析により明らかにすることで、ドライバーの譲り挙動が発現しやすい交差点幾何構造の設計要素に関する知見を得ることを目的とする。

本研究では、横断者と左折車の交錯数が充分多い信号交差点を調査対象として選定した上で、その交錯を抽出する。また、横断者の横断開始タイミングなどの横断実態や危険交錯の発生状況に関する基礎的な特徴を把握し、判別分析を用いて危険交錯の有無に影響を及ぼす要因を明らかにする。さらに、ドライバーの譲り挙動に着目し、ドライバーが譲り判断タイミングにおいて横断者を譲ることできたか否かを判定する手法を提示する。そして、譲り挙動の発生状況を確認し、二項ロジットモデルを用いてドライバーの譲り判断モデルを構築することで、譲りが生じやすい交差点改良シナリオを検討する。

2. 研究方法と調査対象交差点

(1) 研究方法

本研究では、調査対象交差点において複数のアングルから撮影されたビデオ映像に対して、専用の画像解析シ

システム⁶⁾を用いて、車両は0.5秒おきに、横断者は1.0秒おきに移動軌跡データを可能な限り上流地点から取得する。さらに、そのデータに対して、固定区間カルマンスムージングを適用することで、0.1秒ごとの位置、速度、加速度データに変換し、これらのデータに基づき、車両と横断者の間で生じた交錯事象を抽出する。具体的には、Allen *et al.*⁷⁾によって提唱されたPET(Post Encroachment Time)指標の値が10秒以下となる交錯事象を対象とする。PET指標は、交錯を引き起こす2者の交錯点における通過時間差で、式(1)のように定義される。

$$PET = t_2 - t_1 \quad (1)$$

ここで、 t_1 :交錯前者の交錯点通過時刻、 t_2 :交錯後者の交錯点通過時刻である。なお、交錯点(conflict point)とは、図-1に示したように車両の走行軌跡と横断者の移動軌跡が一致した点のことを指す。本研究では、このPET指標を用いた分析に加えて、ドライバの譲り挙動に着目した分析も併せて行う。

(2) 調査対象交差点

本研究では、表-1に交通特性、表-2に概要を示した、群馬県前橋市内の本町一丁目交差点と愛知県名古屋市内の西大須交差点、平安通交差点を調査対象とした。調査対象交差点の選定にあたっては、左折車と横断者の移動軌跡が一定区間以上観測可能であること、また、事故多発交差点に指定されている信号交差点であることなどを考慮した^{例(表3)}。観測時間は、各交差点のピーク時間帯を含む4時間程度としているが、ドライバの譲り挙動が心理的要因の影響を受けやすいと考えられる通勤時間帯、また、車両や横断者の移動軌跡取得が困難である薄暮時、夜間などは避けることとする。

3. PET指標を用いた交錯危険性に関する分析

(1) 横断者横断開始タイミングの集計分析

横断者の横断実態を分析するにあたって、横断者の横断開始(横断歩道進入)タイミングの集計分析を行う。ここでは、各歩行者信号現示、すなわち青開始前、青、青点減、赤において横断開始した横断者の割合を、横断者別(自転車/歩行者)・横断方向別(Near-side/Far-side)に求める。なお、横断者が青開始前に横断開始した場合はフライング、青点減以降に進入した場合は駆け込み進入に該当する。図-2に示した、横断者横断開始タイミングの割合に関して、平安通交差点の北側横断歩道におけるFar-side横断の自転車を除き、すべての横断歩道において、8割以上の横断者が、歩行者信号青時間中に横断開始している。平安通交差点の北側横断歩道における歩行者青時間中に横断開始した割合が8割未満となった理由として、

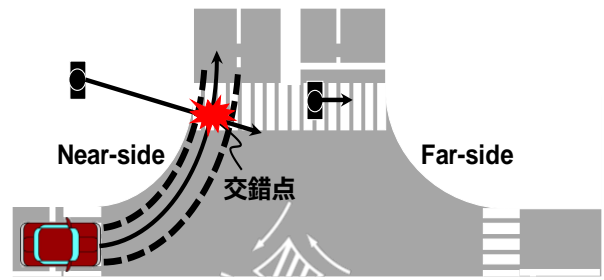


図-1 交錯点の定義

表-1 調査対象交差点における交通特性

交差点	横断歩道	観測日時	交通流率[台/時]		
			歩行者	自転車	左折車
本町一	北側	2016/7/19 7:00~11:00	48	89	52
	南側		83	211	198
西大須	東側	2014/9/16 8:15~12:00	140	175	146
	南側		71	152	101
平安通	北側	2014/5/28 8:20~12:00	69	114	114
	南側		38	80	35

表-2 調査対象交差点の概要

		群馬県		愛知県	
		本町一丁目	西大須	平安通	平安通
信号現示	灯火方式	4 現示	4 現示	4 現示	4 現示
	平均サイクル長 [秒]	154	160	140	140
	歩行者信号	東西	10	8	6
	青点減時間 [秒]	南北	10	6	8
	歩行者信号	東西	35	28	25
道路構造	停止線間距離 ¹⁾ [m]	東西	40	46	42
		南北	47	50	49
	交差点面積 ²⁾ [m ²]	1880	3070	2240	
	制限速度 [km/h]	東西	40	60	60
		南北	50	60	60
	流入部 隅切り半径 [m]	北	16	15	25
		東	18	13	11
		南	14	15	14
西		14	13	13	

1) 最長距離となる点間での距離 2) 横断歩道外側線と交差点隅切り線により囲まれる面積

当該横断歩道は横断歩道長が比較的短く、横断者が短時間で交錯点を通過しやすいことが考えられる。しかしながら、信号を遵守した横断者が大半を占めている一方で、信号無視した横断者がいずれの箇所においても2割程度存在している。

次に、横断者の横断方向によって交錯点到達までの時間に差があることから、フライングの発生状況にも違いが認められるという仮説の下、横断者のフライング発生割合の算出を横断方向別に行う。ここで、フライング発生割合とは、横断待ち横断者が存在するサイクル数に対するフライングの発生したサイクル数の割合である。表-3は、横断方向別のフライング発生割合、ならびに横断方向によってフライング発生割合に差異があるか明らかにするために、母比率の差の検定を行った結果を示している。表-3からわかるように、西大須交差点の東側横

断歩道を除いた、いずれの横断歩道においても横断方向に関して、フライング発生割合に統計的有意差は認められなかった。西大須交差点の東側横断歩道において、Far-side横断者の方が、フライング発生割合が有意に高い結果となったのは、車両停止線から交錯点までの距離に起因するものと考えられる。当該交差点流入部は、他の箇所と交差点隅切り形状が異なり、車両停止線から交錯点までの距離が比較的長く、たとえNear-side横断者が歩行者青開始と同時に横断開始したとしても、車両との危険な交錯の可能性は低い。したがって、Far-side横断者のフライング割合が、Near-side横断者のそれよりも有意に高くなったものと考えられる。

また、一般に自転車の方が歩行者よりも横断速度が高いことから、歩行者青点滅以降に駆け込み進入する割合にも差異が生じるという仮説の下、横断者の駆け込み進入発生割合を交錯対象横断者別に算出する。ここで、駆け込み進入発生割合とは、横断待ち横断者が存在するサイクル数に対する駆け込み進入の発生したサイクル数の割合である。表-4は、交錯対象横断者別の駆け込み進入発生割合、ならびに横断者種別によって駆け込み進入発生割合に差異があるか明らかにするために、母比率の差の検定を行った結果を示している。表-4より、本町一丁目交差点北側横断歩道を除くいずれの横断歩道においても横断者種別に関して、自転車の駆け込み進入発生割合の方が有意に高いことが認められた。自転車は一般に、歩行者よりも速度が高く、歩行者信号青点滅以降であっても、比較的短時間で横断終了できることから、駆け込み進入割合が高くなったものと考えられる。本町一丁目交差点北側横断歩道において統計的有意差が見られなかった要因としては、左折車交通量の多寡が挙げられる。表-1からうかがえるように、当該交差点流入部においては、左折車交通量が比較的少なく、横断者が駆け込み進入したとしても、車両と交錯する可能性が低いことが影響したものと考えられる。しかしながら、統計的有意差が生じなかったものの駆け込み進入発生割合は自転車のほうが高いという結果が得られたことから、横断者種別で横断行動に差異が生じている可能性がある。このように、横断者の危険行為が比較的多く観測されたことから、(2)では横断者の危険行為と交錯危険性の関係性について分析を行う。

(2) 交錯発生状況の集計分析

交錯対象横断者や横断方向によって横断者の横断行動に差異が生じている可能性があることが、(1)の分析結果によりわかった。本節では、これらの差異が危険な交錯の発生に影響を及ぼしているという仮説の下、横断者

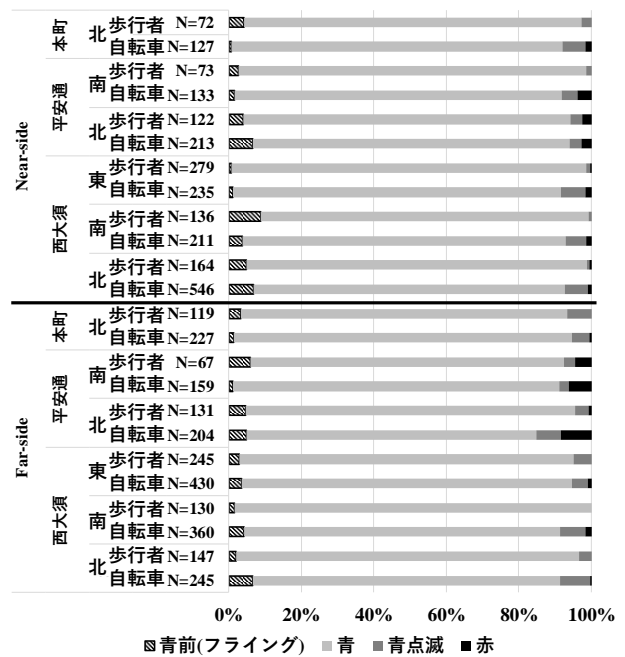


図-2 横断開始タイミングの割合

表-3 横断方向別フライング発生割合と検定結果

交差点	横断歩道	横断方向	フライング割合[%]	χ ² 値
本町一丁目	北側	Near-side	4.71 (4)	1.08
		Far-side	8.75 (7)	
西大須	北側	Near-side	30.6 (26)	3.41
		Far-side	18.3 (15)	
	東側	Near-side	4.82 (4)	10.1**
		Far-side	21.4 (18)	
南側	Near-side	17.9 (15)	0.784	
	Far-side	12.9 (11)		
平安通	北側	Near-side	16.3 (15)	0.527
		Far-side	17.1 (15)	
	南側	Near-side	4.76 (4)	0.377
		Far-side	6.98 (6)	

()はフライングの発生したサイクル数を示している。 **p<0.01, *p<0.05

表-4 横断者別駆け込み進入発生割合と検定結果

交差点	横断歩道	横断者	駆け込み割合[%]	χ ² 値
本町一丁目	北側	自転車	21.5 (20)	3.65
		歩行者	10.5 (8)	
西大須	北側	自転車	55.3 (47)	43.4**
		歩行者	8.24 (7)	
	東側	自転車	44.1 (37)	13.1**
		歩行者	18.1 (15)	
南側	自転車	47.7 (41)	44.1**	
	歩行者	1.35 (1)		
平安通	北側	自転車	35.2 (32)	10.4**
		歩行者	14.1 (12)	
	南側	自転車	23.4 (24)	8.20**
		歩行者	6.94 (5)	

()は駆け込み進入の発生したサイクル数を示している。 **p<0.01, *p<0.05

と車両の交錯発生状況に関する集計分析を行う。サンプルサイズが充分大きい西大須交差点北側横断歩道を対象として、横断者横断開始時の各歩行者信号現示における、車両1台、横断者1人あたりの交錯発生回数を交錯対象横断者別、横断方向別に分析したところ、それぞれ図-3、図-4の結果を得た。なお、本研究ではPETが正の場合を横断者先行、負の場合を車両先行と定義する。

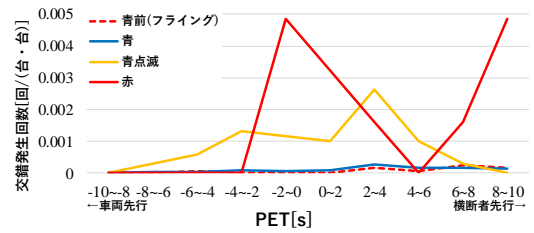
図-3より、交錯危険性が高い、 $|PET| < 4$ 秒の交錯事象に関して、横断者が歩行者信号青点減以降に横断開始した事象に着目すると、自転車の場合、車両先行の割合が、また歩行者の場合、横断者先行の割合が高いことがうかがえる。自転車は交差点接近速度が比較的高く、ドライバーによる自転車の発見が遅れ、車両が先行、すなわちドライバーに譲られにくく、また危険な交錯になりやすいと考えられる。また特に危険性の高い交錯と考えられる $|PET| < 2$ 秒の交錯事象に着目すると、自転車では比較的多くの交錯が発生しているが、歩行者では交錯が発生していないことが見て取れる。これは、歩行者の方が周囲の状況を認知しやすく、危険な交錯になる可能性が高い場合は、歩行者信号青点減以降に横断開始しない、もしくは早めに歩行者が交差点を通過するなど、何らかの危険回避行動をとっているためと考えられる。

図-4に関して、特に危険性の高い交錯と考えられる $|PET| < 2$ 秒の交錯で、横断者が歩行者信号青点減以降に横断開始した事象に着目すると、Near-side横断者の場合、車両先行の割合が、また、Far-side横断者の場合、横断者先行の割合が高いことが認められる。一般に、Near-side横断者は、Far-side横断者と比較し、ドライバーから見えにくい位置に存在することになり、横断者の発見が遅れ、危険な交錯になると考えられる。

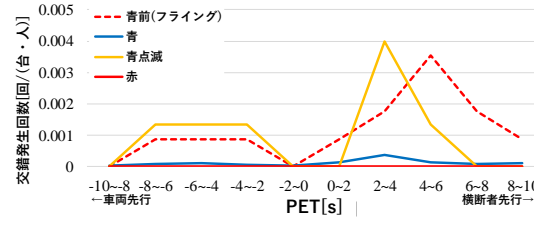
このように、危険な交錯事象には、横断者の交差点接近速度やドライバーの横断者に対する視認性が影響している可能性があることが示唆されたことから、(3)では、横断者と車両の危険な交錯に影響を及ぼす要因を判別分析によって統計的に分析する。

(3) 危険交錯判別モデルの構築

横断者と車両の危険な交錯事象に影響を及ぼす要因を明らかにするために、他者の影響を受けていない車両と横断者(以下、自由歩車)による交錯のみを抽出し、車両左折開始時を基準とした判別分析を行う。対象とする交錯は、西大須交差点における、PETが10秒未満かつ車両が先行した事象とし、特にPETが2秒未満の場合を危険な交錯事象と定義する。分析には、表-5に示した速度や位置などに関する19の説明変数を用い、目的変数は危険交錯の有無(危険交錯=1, 非危険交錯=0)とする。なお、説明変数の1つである、伊藤ら¹⁰⁾の研究でも用いられている予測PET指標は、式(2)で算出される。

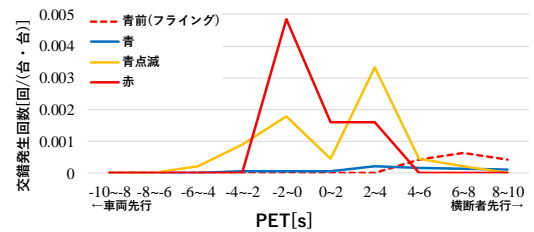


(a) 自転車

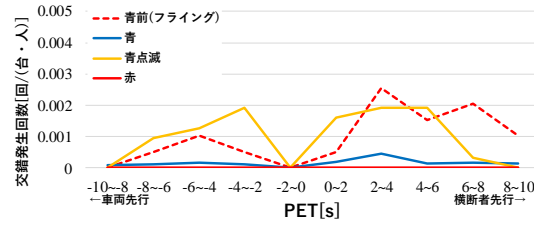


(b) 歩行者

図-3 横断者別 交錯発生回数の分布



(a) Near-side



(b) Far-side

図-4 横断方向別 交錯発生回数の分布

表-5 危険交錯の判別分析で考慮する説明変数

説明変数	定義
速度	横断者速度 車両左折開始時における横断者速度
	車両速度 車両左折開始時における車両速度
位置	存在距離 車両左折開始時における車両バンパー中央から横断者までの距離
	存在角 ダミー 車両左折開始時、車両進行方向に対する中心角30°ごとに設定した各扇形内に横断者が存在する場合=1 (図-5(a))
	存在部 ダミー 車両左折開始時、交差点を7分割した各領域内に、横断者が存在する場合=1 (図-5(b))
その他	予測PET 横断者と車両が、車両左折開始時における速度を維持すると仮定した場合の交差点での通過時間差(横断者先行:正值, 車両先行:負値)
	点減以降 ダミー 歩行者信号青点減以降に、横断者が横断開始した場合=1
	Near-side ダミー Near-side横断者=1
	自転車 ダミー 自転車=1

車両左折開始時は、車両が交差点隅隅に到達した時点の意味する。

$$\text{予測 PET} = \frac{L_{car}}{V_{car}} - \frac{L_{ped}}{V_{ped}} \quad (2)$$

ここで、 L_{car} : 車両の交錯点までの左折軌跡長、 L_{ped} : 横断者の交錯点までの移動距離、 V_{car} : 車両速度、 V_{ped} : 横断者速度を表す。また、予測PET値の発散を防ぐために、車両左折開始時において、車両や横断者が停止していたデータを除外した。

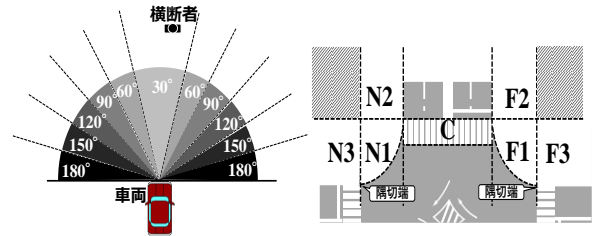
表-6は、先述した説明変数を用いて判別分析を行った結果を示しており、横断者存在角30°ダミー、横断者存在角60°ダミーが1%有意な説明変数となった。このことより、車両進行方向に対する中心角60°以内、すなわち左右30°の範囲に横断者が存在するほど、危険な交錯になる可能性が低いことがわかり、特に横断者存在角30°ダミーの標準化判別係数が最も大きく、ドライバ視野内の横断者の位置関係が危険交錯発生に大きく影響することが推察される。一般に、人間の視覚認知が中心に行われる有効視野は、注視点から左右20°の範囲であると考えられている^{例えば11)}。当該横断者存在角ダミーの包含する範囲は、有効視野角とおおむね一致しており、横断者がドライバの視野内に存在する場合、ドライバが早めに危険回避行動をとることができるため、危険交錯になりにくくなるものと考えられる。また、ゾーンN2ダミーが1%有意な説明変数となり、判別係数が正であることから、車両左折開始時に横断者がゾーンN2に存在するほど、危険な交錯になる可能性が高いと解釈できる。この要因としては、横断者がゾーンN2に存在する場合、車両から離れた位置に存在することになり、また横断者が急激に進行方向を変更して横断する可能性があることから、ドライバが横断者の存在、横断意思を認知しづらいことが挙げられる。さらに、自転車ダミーの結果より、横断者が自転車である方が、危険な交錯になる可能性が高いことがわかる。これは、自転車の方が歩行者よりも速度が高く、ドライバがその存在位置を予測しづらいためと考えられる。また、判別的中率の結果より、おおむねモデル推定結果の精度は良好といえる。

以上のように、危険な交錯の発生には、横断者の位置や速度が影響していることがわかった。4.では、本分析における説明変数を用いて、交錯2者の通過時間差という連続値ではなく、ドライバの譲り挙動に着目し、危険な交錯、すなわちドライバが横断者を譲らなかった非譲り事象に影響を及ぼす要因に関して分析する。

4. ドライバの譲り挙動に関する分析

(1) 譲り挙動の分類

ドライバの譲り挙動は、譲り可能性と実際の譲り有無の関係から、4パターンに分類することができる。ドライバの譲り判断タイミング(本研究では、車両左折開始時と仮定)において、ドライバが横断者を譲ることが可能であった条件下で、実際に横断者を譲った場合、横断



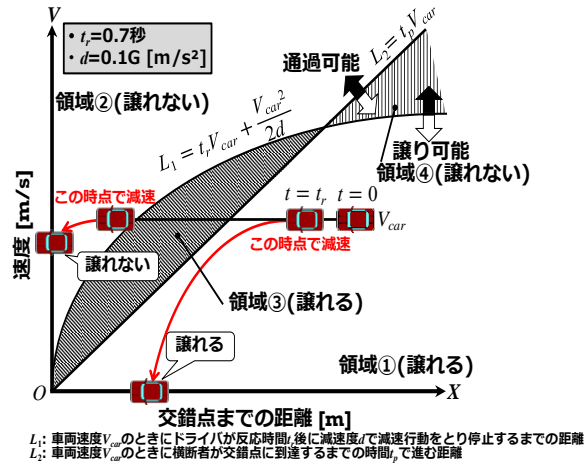
(a) 存在角ダミー (b) 存在部ダミー

図-5 横断者存在位置の定義

表-6 危険交錯判別モデルの推定結果

説明変数	非標準化判別係数 (t 値)	標準化判別係数
存在角 30°ダミー	-61.9 (-5.30*)	-0.379
存在角 60°ダミー	-55.5 (-2.89**)	-0.153
ゾーンN2ダミー	41.1 (2.20**)	0.117
自転車ダミー	15.6 (1.68)	0.0939
定数項	31.7 (2.55*)	
重心	危険+ 非危険-	
判別的中率	75.5%	
サンプルサイズ	208	

**p<0.01, *p<0.05



者と車両双方は問題なく交錯点を通過したことになり、譲らなかった場合は、車両側の優先通行無視と判定できる。また、横断者を譲ることが不可能であった条件下で、横断者を譲った場合、車両の急減速に伴う後続車の追突リスクが高まると考えられ、譲らなかった場合は、横断者側の無理な横断が発生している可能性が高いと解釈できる。

譲り判断タイミングにおけるドライバの横断者に対する譲り可能性は、信号黄時間の設定手法を援用し、当該時点における車両の交錯点までの距離と速度の関係から、4パターンに分類される(図-6)。車両の交錯点までの距離および速度が L_1 以下の場合、横断者を譲ることが可能であり、 L_2 以上の場合、現在の速度を一定に維持すれば横断者より先に交錯点を通過可能であることを表す。なお、2つの境界線で区切られた4つの領域のうち、ドライバが横断者を譲ることができるのは領域①および領域③に存在するときである。また、本研究では通例に倣って、ドライバの反応時間を0.7秒に設定する¹²⁾。

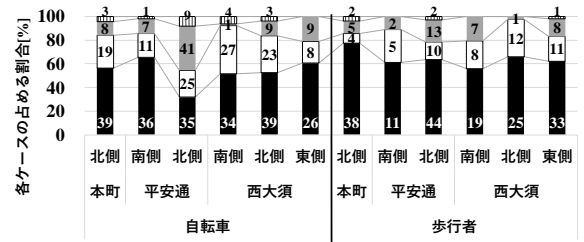
(2) 譲り挙動の発生状況に関する基礎分析

車両左折開始時を譲り可能性の判定時点として、ドライバの譲り可能性と実際の譲り挙動を交錯対象横断者別に集計したところ、図-7の結果を得た。なお、無理のない減速を仮定し、減速度 $a=0.1G[m/s^2]$ とした。図-7に関して、車両が左折開始時に無理なく減速した場合、横断者を譲ることができない事象が多く発生しており、その中で譲った割合が全体的に高いことがわかる。このことより、横断者の無理な横断が比較的多く発生しているものと考えられる。また、式(3)により算出される譲り遵守率YCの値を算出したところ、表-7を得た。なお、表中には譲り遵守率が横断者種別によって差があるか明らかにするために、母比率の差の検定を行った結果も併記している。

$$YC = \frac{N_A(B)}{N(A)} \quad (3)$$

ここで、 $N(A)$:横断者を譲れる状況であったと判定された交錯事象数、 $N_A(B)$:譲れる状況下で横断者を譲った交錯事象数である。表-7より、西大須交差点東側横断歩道と平安通交差点南側横断歩道を除く、いずれの横断歩道においても、自転車の譲り遵守率の方が歩行者のそれよりも低いことが認められる。これは、自転車の速度が歩行者よりも高く、ドライバがその存在位置を予測しづらいためと考えられる。なお、西大須交差点東側横断歩道が他と異なる傾向となったのは、当該流入部では、車両が鈍角で左折することで、横断者を比較的前めに認知しやすいことが影響したものと推察される。平安通交差点南側横断歩道に関しては、サンプルの多くが自転車であったことが影響していると考えられる。さらに、母比率の差の検定結果より、横断者種別によって統計的有意差が認められなかった箇所も存在するが、横断者種別がドライバの譲り挙動に影響を及ぼしている傾向にある。

次に、ドライバの譲り挙動のパターン分類を横断方向別に行ったところ、図-8の結果を得た。なお、分析に係る諸条件は、交錯対象横断者別の分析と同じである。図-8より、各交差点横断歩道によって譲り挙動の傾向が大きく異なることがうかがえる。ここで、譲り遵守率を横断方向別に算出したところ、表-8を得た。なお、表中には横断方向によって譲り遵守率に差があるか明らかにするために、母比率の差の検定を行った結果も併記している。検定結果より、平安通交差点北側横断歩道を除き、横断方向による譲り遵守率に統計的有意差は認められないことがわかった。このことから、横断方向によってドライバの譲り挙動が異なるとは言い難い。平安通交差点北側横断歩道において、Near-side横断者の方が有意に譲られにくいという結果になった要因として、ドライバによるNear-side横断者発見の遅れが挙げられる。当



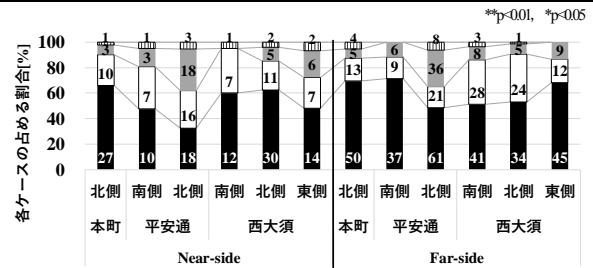
■譲れる状況で譲った □譲れる状況で譲らなかった ■譲れない状況で譲った □譲れない状況で譲らなかった

棒グラフ中の数字は観測数を示している。

図-7 横断者別譲り挙動パターン

表-7 横断者別譲り遵守率と検定結果

交差点	横断歩道	横断者	譲り遵守率[%]	χ^2 値
本町一丁目	北側	自転車	67.2	7.43**
		歩行者	90.5	
西大須	北側	自転車	62.9	0.221
		歩行者	67.6	
	東側	自転車	76.5	0.0225
		歩行者	75.0	
	南側	自転車	55.7	1.67
		歩行者	70.4	
平安通	北側	自転車	58.3	7.16**
		歩行者	81.5	
	南側	自転車	76.6	0.388
		歩行者	68.8	



■譲れる状況で譲った □譲れる状況で譲らなかった ■譲れない状況で譲った □譲れない状況で譲らなかった

棒グラフ中の数字は観測数を示している。

図-8 横断方向別譲り挙動パターン

表-8 横断方向別譲り遵守率と検定結果

交差点	横断歩道	横断方向	譲り遵守率[%]	χ^2 値
本町一丁目	北側	Near-side	73.0	0.538
		Far-side	79.4	
西大須	北側	Near-side	73.2	2.23
		Far-side	58.6	
	東側	Near-side	66.7	1.26
		Far-side	78.9	
	南側	Near-side	63.2	0.0869
		Far-side	59.4	
平安通	北側	Near-side	52.9	5.09*
		Far-side	74.4	
	南側	Near-side	58.8	3.06
		Far-side	80.4	

**p<0.01, *p<0.05

該横断歩道のNear-sideでは、図-9に示すようにフェンスによって、北側方向から南下する横断者をドライバが視認しづらいことが影響したものと推察される。

以上のように、ドライバの譲り挙動には、横断者の速度や存在位置などが影響している可能性があることから、(3)におけるドライバの譲り判断モデル構築では、これらに関する説明変数を導入し、ドライバの譲り挙動に及ぼす影響を統計的に分析する。

(3) ドライバの譲り判断モデルの構築

本節では、ドライバの譲り判断に影響を及ぼす要因を明らかにするために、二項ロジットモデルを用いた統計的分析を行い、得られたモデルに基づき、ドライバの譲り挙動が発現しやすい交差点改良シナリオを検討する。なお、ここで構築する二項ロジットモデルは、式(4)に示す車両左折開始時におけるドライバの譲り確率 P_{yield} を推定するものである。

$$P_{yield} = \frac{1}{1 + \exp(-V_{yield})} \quad (4)$$

$$V_{yield} = \alpha + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i \quad (5)$$

ここで、 V_{yield} : ドライバの譲りによる効用関数、 α : 定数項、 β_i : i 番目の説明変数のパラメータ、 x_i : i 番目の説明変数である。

PETが10秒未満の自由歩車間交錯に関して、表-5の説明変数を用い、パラメータ推定を行った結果を表-9に示す。なお、表中の斜線部の項目は、10%有意でないため、説明変数から除外したことを表している。これより、各説明変数の分析結果について考察を行う。

車両速度に関して、パラメータの符号が負であることから、車両の交差点接近速度が高いほど、横断者はドライバに譲られにくいと解釈できる。車速が高い場合、ドライバの視野が低速走行の場合に比べて狭まり、横断者に対する視認性が低くなるのが要因と考えられる。存在距離は、全交差点において1%有意となり、パラメータが負であることから、横断者が車両から離れた位置にいるほど、横断者はドライバに譲られにくいと解釈できる。横断者が車両から離れた位置に存在する場合、ドライバによる横断者の認知が遅れることが要因として考えられる。次に、ゾーンN1ダミーとゾーンN2ダミーに関して、パラメータの符号が負であることから、横断者がゾーンN1、ゾーンN2に存在するほど、横断者はドライバに譲られにくいと解釈できる。なお、当該説明変数は、平安通交差点でのみ5%有意となった。これは、(2)でも述べた平安通交差点におけるNear-side横断者の発見遅れが影響していると考えられる。また、ゾーンN3ダ



図-9 平安通西流入部からの左折 (出典: Google Maps)

表-9 各交差点における譲り判断モデルの推定結果

説明変数	パラメータ (t 値)		
	西大須	平安通	本町一
車両速度 [m/s]	/	/	-0.840(-2.41*)
存在距離 [m]	-0.0493(-4.28**)	-0.144(-3.80**)	-0.124(-2.63**)
ゾーン N1 ダミー	/	-2.07(-2.06*)	/
ゾーン N2 ダミー	/	-2.49(-2.20*)	/
ゾーン N3 ダミー	-1.71(-3.78**)	-6.60(-4.99**)	-5.32(-3.58**)
予測 PET [s]	0.0426(2.55*)	0.182(4.23**)	0.112(2.28*)
青点減以降ダミー	-1.13(-2.75**)	/	/
定数項	3.43(7.37**)	8.09(5.50**)	10.1(4.20**)
自由度調整済尤度比	0.213	0.594	0.512
的中率	80.1%	90.0%	90.2%
サンプルサイズ	271	221	102

**p<0.01, *p<0.05

ミーは、全交差点において1%有意となり、パラメータが負であることから、横断者がゾーンN3に存在するほど、横断者はドライバに譲られにくいと解釈できる。一般に、車両左折開始時点におけるドライバが、ゾーンN3に存在する横断者を視認するためには、首振り確認が必要であり、他のゾーンに存在する横断者と比較し、発見が困難といえる。したがって、ゾーンN3ダミーが、いずれの交差点においても有意な説明変数になったものと考えられる。予測PETに関しては、パラメータの符号が正であることから、予測PETが小さい、すなわち車両先行になると予測されるほど、横断者はドライバに譲られにくいと解釈できる。予測PETは車両速度が高い場合にも小さくなりやすいことから、車両速度が高い等により予測PETが小さくなる場合には、譲られにくいといえる。さらに、青点減以降ダミーに関して、パラメータの符号が負であることから、横断者が歩行者信号青点減以降に横断開始するほど、横断者はドライバに譲られにくいと解釈できる。これは、歩行者信号青点減以降では、横断者が横断開始しないものとドライバが思い込み、十分な安全確認をせずに通過しようとするためと考えられる。このような横断者側の無理な駆け込み進入に対しては、横断者に対する交通安全教育が必要といえる。なお、西大須交差点以外では有意とならなかったのは、駆け込み進入した横断者のサンプルサイズの少なさによるものと考えられる。

次に、全交差点データに基づきドライバの譲り判断

モデルの構築を試みる。交差点固有の特性が及ぼす影響を確認するために、新たに西大須ダミー、平安通ダミーを導入し、分析した結果を表-10に示す。表-9のモデル分析結果と比較し、存在距離、ゾーンN3ダミー、予測PETが変わらず1%有意な説明変数となり、パラメータの符号にも変化は認められない。また、西大須交差点でのみ有意な説明変数となった青点減以降ダミーが5%有意な説明変数となった。なお、西大須ダミーと平安通ダミーが統計的に有意な説明変数とならなかったことから、交差点ごとの特性が及ぼす影響は小さいものと考えられるが、本分析は3交差点のみを分析対象としていることから、多くの交差点データを含めた上で、再度分析することが望ましいゾーンF1ダミーに関しては、パラメータの符号が負であることから、横断者がゾーンF1に存在するほど、横断者はドライバに譲られにくいと解釈できる。一般に、ゾーンF1における横断者は、車両から離れた位置に存在することになり、横断者が交差点に到達する前に自車が先行できるとドライバが判断するためと考える。存在角150°ダミーは、パラメータが負であることから、車両進行方向に対する中心角120°から150°の範囲内に横断者が存在するほど、横断者はドライバに譲られにくいと解釈できる。当該存在角は、先述した有効視野外であり、また車両のAピラーによる死角が影響している可能性がある。

ここまでの統計モデル分析により、ドライバの譲り挙動には、横断者の存在位置が影響している可能性があることが示唆された。(4)では、実際の交差点構造の改良を想定した、ドライバの譲り挙動に関する感度分析を行い、ドライバの譲りをより誘発する交差点改良シナリオの検討を試みる。

(4) 感度分析による交錯危険性の評価

(3)において構築したドライバの譲り判断モデルに基づき、交差点構造の改良を想定した感度分析を実施し、ドライバの譲り挙動に関する評価を行う。感度分析を行うにあたり、式(6)で算出されるドライバの予測譲り率 P_{yield} を導入する。

$$P_{yield} = \frac{N_{yield}}{N} \times 100 \quad (6)$$

ここで、 N : 全横断者数、 N_{yield} : ドライバの譲り判断モデルにより、ドライバが横断者を譲ると判定された横断者数を表す。ここでは、調査対象交差点での全データを用いて構築した二項ロジットモデルによる推定結果に関して、歩行者動線の整流化を目的とした歩行者通行位置の変更を想定して感度分析を行う。

表-10の結果に基づき、ゾーンN3の通行禁止を想定した感度分析を行ったところ、表-11の結果を得た。なお、

表-10 統合データを用いた譲り判断モデルの推定結果

説明変数	パラメータ (t 値)
存在距離 [m]	-0.0550 (-5.04**)
ゾーン N3 ダミー	-2.73 (-6.44**)
ゾーン C ダミー	0.686 (1.87)
ゾーン F1 ダミー	-0.722 (-2.18*)
存在角 150°ダミー	-1.59 (-3.25**)
予測 PET [s]	0.0679 (-2.57**)
青点減以降ダミー	-0.901 (4.90*)
定数項	4.01 (8.25**)
自由度調整済尤度比	0.316
的中率	82.5%
サンプルサイズ	594

**p<0.01, *p<0.05

表-11 ゾーン N3 横断者と譲り挙動予測率

	ゾーン N3 横断者の割合 [%]	予測譲り率 [%]
現状	10.4	83.5
Case 1	0 (ゾーン N3 の通行禁止)	90.1
Case 2	100 (横断者のゾーン N3 誘導)	43.3

表中には、車両左折開始時に全横断者がゾーンN3に存在した場合の予測譲り率も示している。表-11から、横断者のゾーンN3への進入を防ぐことにより、およそ10%程度の譲り率向上が見込めることがわかる。また、全横断者をゾーンN3へ誘導した場合、譲り率が40%程度となることから、ゾーンN3に存在する横断者のドライバからの視認性を高めることが重要といえる。

5. おわりに

本研究では、横断歩道上における横断者と左折車の交錯危険性をドライバの譲り挙動に着目して分析し、ドライバの譲り挙動に及ぼす影響要因を抽出することで、譲りが生じやすい交差点の改良シナリオについて検討を行った。危険交錯に影響を及ぼす要因に関する判別分析においては、危険交錯の発生に、横断者の存在位置や速度が影響している可能性があることがわかった。また、二項ロジットモデルを用いて構築したドライバの譲り判断モデルの結果より、譲り挙動を誘発するには、歩行者や自転車の通行位置の見直しや車両交差点接近速度の抑制、横断者の駆け込み進入の抑制等が有効であることが示唆された。今後の課題として本研究では、ドライバの譲り判断タイミングを車両左折開始時と仮定して分析を行っていることから、ドライバの譲り判断タイミングについても留意した上で、譲り判断タイミングが譲り挙動に及ぼす影響についても精査が必要である。

謝辞：本研究を実施するにあたり、名古屋大学大学院中村英樹には、名古屋市内のビデオ映像データをご提供いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 警察庁：交通事故統計 2018 年度版, 2019.
- 2) 公益財団法人交通事故分析センターITARDA：イタルダ・インフォメーション 2010 年 5 月版, 2015.
- 3) 小川圭一・川居卓也：交通処理能力からみた歩車分離式信号の導入効果に関する研究, 第 28 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.108-112, 2008.
- 4) Ting Fu, Luis Miranda-Moreno, Nicolas Saumier: A novel framework to evaluate pedestrian safety at non-signalized locations, *Accident Analysis and Prevention*, pp.23-33, 2018.
- 5) 井料・谷口: 無信号横断歩道における車両の歩行者回避挙動特性分析, 第 53 回土木計画学研究発表会・講演集, pp.298-302, 2015.
- 6) 鈴木一史・中村英樹: 交通流解析のためのビデオ画像処理システム Traffic Analyzer の開発と性能検証, 土木学会論文集 D3, Vol.62, No.3, pp. 276-287, 2006.
- 7) Brian L. Allen, B. Tom Shin, Peter J. Cooper: Analysis of traffic conflicts and collision, *Transportation Research Record* 677, pp.67-74, 1978.
- 8) 一般社団法人日本損害保険協会: 全国交通事故多発交差点マップ, <http://www.sonpo.or.jp/efforts/reduction/kousaten/kousatenmap30/> (2019/12/18 閲覧)
- 9) 伊藤大貴・鈴木弘司：大規模交差点における歩行者と左折車の危険行為と交錯危険性の要因分析, 第 52 回土木計画学研究発表会論文報告集, 6 ページ (CD-ROM) , 2015.
- 10) 谷繁龍之介・道満恵介・出口大輔・目加田慶人・井手一郎・村瀬洋: 運転時の人間の視野特性を考慮した歩行者の見落としやすさ推定手法に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告 信学技報 114 , pp. 223-228, 2015.
- 11) 社団法人交通工学研究会: 改訂 交通信号の手引き, 丸善出版, p.44, 2006.

(2020.3.8受付)

Analysis on Drivers' Yielding Behaviors of Left Turning Vehicles and its Traffic Conflicts at Crosswalks of Signalized Intersections

Takuma INOUE and Kazufumi SUZUKI