

大規模交差点における利用者の危険挙動と交錯発生に関する実証分析

伊藤 大貴¹・松本 直幸²・鈴木 弘司³

¹正会員 株式会社 長大 (〒450-0003 名古屋市中村区名駅南1-18-24)

E-mail:itou-hr@chodai.co.jp

²正会員 中央コンサルタンツ株式会社 (〒451-0042 愛知県名古屋市中区那古野2丁目11-23)

³正会員 名古屋工業大学大学院准教授 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)

E-mail:suzuki.koji@nitech.ac.jp

多車線道路の交差する信号交差点において、事故の予防対策は急務であるが、交通事故自体は稀な事象であり、実際に発生した事故事例を用いた予防対策の効果検証には時間を要する。そのため、顕在化した事故を用いた評価だけでなく、潜在的な事故危険性を評価する方法の確立が求められている。また、高齢者を中心とした信号交差点における横断者の安全対策検討も喫緊の課題である。

そこで、本研究では、過去数年内に事故が発生した名古屋市内の複数の信号交差点・横断歩道付近を対象に実施した観測調査の結果に基づき、右左折車、自転車利用者、歩行者の危険挙動の発生に関する統計解析を行い、影響要因を明らかにした。また、歩行者と車両間で発生する危険交錯の現況を把握した。そのうえで、横断者の安全性向上施策として、交差角や停止線セットバック量の変更といった交差点構造の改良の設定変更を提案し、構築したモデルの感度分析により、その影響を計量し、考察を行った。

Key Words : 交差点, 危険行為, 交錯危険性, 道路構造

1. はじめに

近年、交通事故件数は減少傾向にあるものの、依然として約 63 万件発生しており、交通事故による死者数は約 4,400 人と、交通事故の問題は現在も残っている。そのため、現在では大規模交差点の事故の予防対策は急務であるが、交通事故自体は稀な事象であり、実際に発生した事故事例を用いた予防対策の効果の検証には時間がかかる。そのため、顕在化した事故を用いた評価ではなく、潜在的な事故危険性を評価する方法が求められている。

そこで、本研究では、近年、歩行者や自転車と右左折車の事故が発生している多車線道路が交差する信号交差点において、観測調査を行い、交差点利用者の挙動を分析することで、各利用者の危険行為と交差点特性の関係性を明らかにし、その後、感度分析を用いて、交差点改良による危険行為抑制効果の評価を行う。歩行者や自転車と車両間の交錯危険性を定量化する評価指標を用いて分析を行い、交錯危険性に影響を与える交差点特性要因

を明らかにする。

2. 調査概要と分析方法

(1) 調査概要

本研究では、交差点利用者の危険行為や、危険交錯の発生状況と交差点特性の関連性を分析するため、名古屋市中区の桜通大津交差点（以降、SO）、桜通本町交差点（以降、SH）、広小路伏見交差点（以降、HF）、西大須交差点（以降、NO）、名古屋市北区の平安通 1 交差点（以降、H）、中切町交差点（以降、N）の 6 箇所の交差点、計 13 箇所の横断歩道において外部観測を行った。各横断歩道における調査内容を表-1 に示す。分析対象とする交差点や横断歩道の選出には、交差点特性による交錯の潜在的危険性を定量化することに留意している。特に、交差点構造については、セットバック、横断歩道長、交差角、横断歩道設置角の異なる交差点であることに考慮している。横断歩道の構造特性は、Googlemap から計測を行っている。また、本研究では流

入セットバックを流出セットバックで除した値と隅角比と定義し、隅角比が1を超えた場合、流入セットバックの方が流出セットバックより長いことを示す。このように本研究では左折車の進行方向に対する交差点形状の違いについても着目する。主な交差点構造定義図を図-1に、調査横断歩道の構造特性諸量を表-2に、現示階梯図を表-3に示す。表-3より、信号制御条件は全交差点において単純4現示制御であり、Y1~Y4, AR1, AR2はほとんど変わらないことがわかる。なお、本研究では、調査横断歩道により、取得している対象が異なる。

(2) 分析方法

本研究では、外部観測によって得られた映像データから、解析ソフト¹⁾を使用して座標データを取得し、そのデータを基に分析を進めていく。なお、横断歩道によって1サイクルあたりの交通量が異なるため、分析に使用するサンプルの確保を考慮し、交差点によって取得サイクル数が異なる。また、本研究では歩行者および自転車(以下、横断者)の横断歩道への流入方向を考慮した分析を行うため、横断者の流入方向は、Nearside 流入とFarside 流入に分ける。横断者の流入方向定義図を図-2に示す。

自転車利用者の高齢者・非高齢者および横断時の首振り確認行為の取得は、調査により取得した映像から同一の調査員により取得を行った。首振り確認判別例を図-3に示す。

表-2 構造特性諸量

横断歩道名	横断歩道長 [m]	セットバック長 [m]		交差角 [°]	横断歩道設置角 [°]	流出先車線数	最短左折軌跡長 [m]	ゼブラ島の有無
		流入側	流出側					
SO _W	29.0	13.2	13.2	90	90	4	38.6	なし
SO _S	29.5	12.9	12.9	90	90	4	38.8	なし
SH _E	28.5	4.7	4.7	90	90	3	20	なし
HF _S	33.8	14.7	14.7	90	90	3	41.1	あり
HF _N	27.1	19.0	19.0	90	90	3	41.4	あり
NO _W	25.7	4.0	4.0	110	110	3	24.4	あり
NO _E	22.0	13.1	8.9	110	110	3	25.4	あり
NO _S	33.3	11.1	11.1	70	70	3	23.9	あり
NO _N	33.7	9.5	11.6	70	70	3	29.8	あり
H _E	25.6	18.3	18.3	110	100	3	28.4	なし
H _W	23.9	17.4	18.8	90	90	3	40.4	なし
H _S	17.1	10.1	10.1	70	120	2	19.5	あり
N _N	28.3	3.1	7.8	90	90	3	20.5	なし

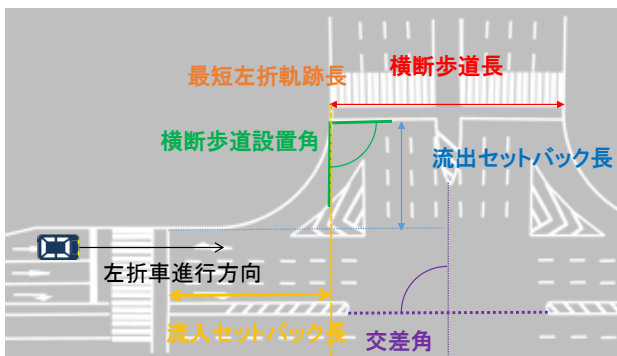
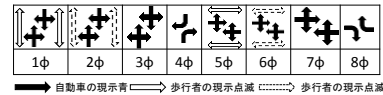


図-1 交差点構造定義図

表-1 調査概要

分析対象交差点	分析対象横断歩道	分析映像日時	撮影箇所	調査内容
(SO) 桜通大津交差点 (SH) 桜通本町交差点 (HF) 広小路伏見交差点 (NO) 西大須交差点 (H) 平安通1交差点 (N) 中切町交差点	(SO) 西部横断歩道 南部横断歩道 (SH) 東部横断歩道 (HF) 南部横断歩道 北部横断歩道 (NO) 西部横断歩道 東部横断歩道 南部横断歩道 北部横断歩道 (H) 西部横断歩道 東部横断歩道 南部横断歩道 (N) 北部横断歩道	(SO) 2012年11月1日 8:15~8:45,11:45~12:15,16:15~16:45 (SH) 2012年11月1日 11:45~12:15,16:15~16:45 11月2日 8:15~8:45,11:45~12:15 (HF) 2012年11月5日 8:15~8:45,11:45~12:15,16:15~16:45(北部) 8:15~8:45,11:45~12:15,16:15~16:45(南部) (N) 2014年9月16日 8:15~9:00,13:15~14:00(西部) 13:00~15:00(東部・北部) 8:15~8:45,11:30~12:00,16:10~16:40(南部) (H) 2014年5月28日 15:00~16:00(西部) 8:30~9:30,11:00~12:10,16:15~17:00(東部) 9:30~11:00,12:30~17:00(南部) (N) 2014年1月10日 10:30~13:00(北部)	・交差点に隣接する歩道からの信号現示撮影 ・交差点付近の信号機柱、街灯柱からの交差点内、横断歩道内撮影	・右左折者挙動 ・横断者(歩行者・自転車)の挙動 ・信号現示

表-3 現示階梯図



交差点名	1φ	2φ	3φ	Y1	4φ	Y2	AR1	5φ	6φ	7φ	Y3	8φ	Y4	AR2	C
SO	37	10	2	4	12	2	5	48	10	2	4	17	2	5	160
SH	39	10	2	3	9	2	5	61	5	2	3	14	2	3	160
HF	63	7	2	4	7	2	5	40	10	2	4	7	2	5	160
NO	50	10	5	4	12	2	5	40	10	4	4	7	2	5	160
H	①	31	10	2	4	11	2	5	43	7	2	4	12	2	140
	②	31	10	2	4	10	2	5	42	7	2	4	12	2	138
	③	31	10	2	4	12	2	5	44	7	2	4	15	2	145
N	77	5	2	3	7	2	3	31	10	2	3			5	150



図-2 横断者の流入方向定義図



図-3 自転車利用者の首振り判別例

3. 横断者の危険行為と交差点特性の関連性分析

本章では、横断者の交差点利用状況を踏まえた上で、道路交通法（以降、道交法）を参考に、危険行為を定義し、危険行為の発生状況と交差点特性の関連性について分析を行う。

(1) 歩行者の危険行為と交差点特性の関連性分析

a) 歩行者の交差点利用状況

歩行者の交差点利用状況を集計するにあたり、本研究では、歩行者横断歩道進入タイミングを4段階に定義する。歩行者信号が青に点灯する前に横断歩道へ進入することを「青前」、青点灯中に進入することを「青」、青点滅中に進入することを「青点滅」、赤点灯以降に進入することを「赤以降」とする。横断歩道別進入タイミング定義を表-4、流入方向別横断歩道進入タイミングの割合を流入方向別に図-4、図-5に示す。

図-4、図-5より、ほとんどの交差点において約60%以上の歩行者が青時間中に進入していることが確認できる。しかしながら、歩行者現示が青点灯する前に、横断歩道へ進入している歩行者の占める割合は、横断歩道によって異なり、 H_E については、Nearside からの流入は、全歩行者の20%を超える歩行者が青前に進入しており、他の横断歩道よりも青前に横断を開始する歩行者割合が高く、さらに、青点滅時の進入については、 NO_S のNearside 流入以外において青点滅中に横断を開始する歩行者が存在することがわかった。

b) 歩行者の危険行為と交差点特性の関連性分析

前節では、歩行者の交差点利用状況を集計し、横断する歩行者の中には、青点滅以降にも横断を開始する歩行者が存在することがわかった。しかしながら、道路交通法（以降、道交法）では、歩行者は歩行者現示が青点滅以降の進入は禁止されている。よってこの行為は道交法に反する危険行為であると考えられる。そこで本稿では、歩行者信号が青になる前に進入する行為を「フライング」、歩行者信号青点滅以降に横断歩道へ進入する行為を「点滅以降進入」、歩行者信号赤点灯時にCZに存在している行為を「残留」と定義する。また、本研究では、横断歩道ごとに分析対象時間帯が異なるため、取得サイクル数が異なっている。そのため、各横断歩道における危険行為発生件数を、調査サイクル数で除した1サイクルあたりの危険行為発生件数[件/サイクル]を用いて比較を行うこととする。危険行為該当信号時間の定義と流入方向別1サイクルあたりの危険行為別発生件数を表-5に示す。

表-5より、 SH_E と H_S 以外は青点滅時間が10[s]であり、それほど大きな違いがないことがわかる。また、赤時間

表-4 横断歩道別進入タイミング定義

横断歩道	青前	青	青点滅	赤
SO_W	AR2	1φ	2φ	3φ~AR1
SO_S	AR1	5φ	6φ	7φ~AR2
SH_E	AR2	1φ	2φ	3φ~AR1
HF_S	AR1	5φ	6φ	7φ~AR2
HF_N	AR1	5φ	6φ	7φ~AR2
NO_W	AR2	1φ	2φ	3φ~AR1
NO_S	AR1	5φ	6φ	7φ~AR2
H_E	AR2	1φ	2φ	3φ~AR1
H_S	AR1	5φ	6φ	7φ~AR2

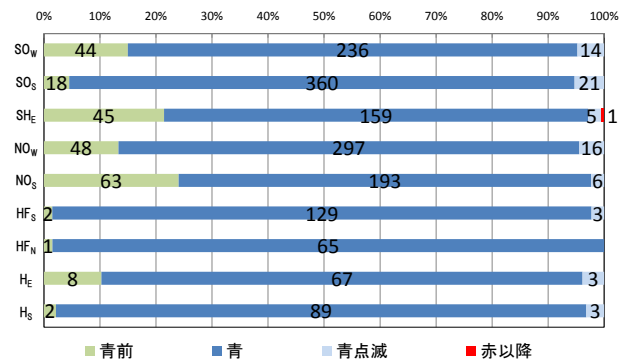


図-4 歩行者の横断歩道進入タイミング (Nearside 流入)

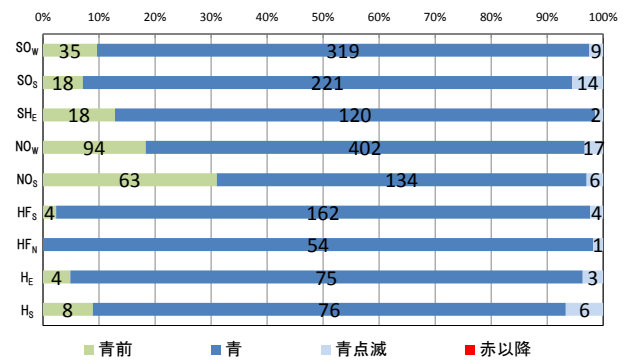


図-5 歩行者の横断歩道進入タイミング (Farside 流入)

表-5 危険行為該当信号時間の定義と流入方向別1サイクルあたりの危険行為別発生件数

交差点名	歩行者信号時間定義		歩行者信号時間[s]		1サイクルあたりの危険行為発生件数[件/サイクル]					
	歩行者信号青点滅時間定義	歩行者赤時間定義	青点滅時間	赤時間	Nearside流入			Farside流入		
					フライング	青点滅以降進入	残留	フライング	青点滅以降進入	残留
SO_W	2φ	3φ~AR2	10	113	1.91	0.61	1.39	1.52	0.39	1.74
SO_S	6φ	7φ~AR1	10	102	0.78	0.91	2.00	0.78	0.61	0.96
SH_E	2φ	3φ~AR2	5	111	1.02	0.14	0.43	0.41	0.05	0.18
HF_S	6φ	7φ~AR1	10	110	1.50	0.50	1.44	2.94	0.53	1.16
HF_N	6φ	7φ~AR1	10	110	1.97	0.19	0.72	1.97	0.19	0.69
NO_W	2φ	3φ~AR2	10	100	0.06	0.09	0.38	0.12	0.12	0.15
NO_S	6φ	7φ~AR1	10	110	0.03	0.00	0.09	0.00	0.03	0.15
H_E	2φ	3φ~AR2	10	99	0.10	0.03	0.15	0.05	0.03	0.05
H_S	6φ	7φ~AR1	7	90	0.02	0.02	0.03	0.06	0.05	0.07

は最短で H_S の90[s]、最長で SO_W の113[s]と最大で23[s]の差があることが見て取れる。1サイクルあたりの危険行為発生件数に着目すると、「フライング」についてはNearside流入とFarside流入ともに1[件/サイクル]以上の横断歩道である SO_W 、 HF_S 、 HF_N については、青点滅時

間が 10[s], 赤時間も 110[s]以上である. そこで, 歩行者信号時間と 1 サイクルあたりの危険行為発生件数の傾向を把握するため相関分析を行う. 相関分析結果を表-6 に示す.

表-6 より, 青点滅時間は Farside 流入の「点滅以降進入」と正の相関傾向があるものの, 有意な結果とはならなかった. 赤時間は, Nearside 流入の「フライング」, Farside 流入の「フライング」と「残留」で正の相関傾向があり, 有意な結果となったのは Nearside 流入の「フライング」であった. つまり, 歩行者の横断方向の赤時間が長くなるにつれて, フライングが発生しやすい傾向にあるといえる. この理由として, 赤信号をより長く待たされるため, 歩行者が少しでも早く横断したいという心理による結果であると考えられる.

以上より, 歩行者信号時間と歩行者の危険行為には関係性が見られ, 特に赤時間が長くなるにつれて危険行為が発生しやすい傾向にあることがわかった.

(2) 自転車の危険行為と交差点特性の関連性分析

a) 自転車の交差点利用状況

自転車についても, 歩行者と同様に横断歩道進入タイミングを 4 段階に定義する. また, 自転車のデータを取得しているの 4 箇所の横断歩道における, 横断歩道別進入タイミング定義を表-7, 流入方向別横断歩道進入タイミングの割合を流入方向別に図-6, 図-7 に示す.

図-6, 図-7 より, 約 8 割以上の自転車利用者が青時間に横断歩道へ進入していることがわかった. また, 流入方向によって, 進入タイミングの内訳に大きな差がないことがわかる.

b) 自転車の危険行為と交差点特性の関連性分析

自転車の危険行為も, 歩行者と同様に, 歩行者信号における横断歩道進入タイミングで定義をする. なお, 本研究では, 青前に進入する「フライング」と「残留」は, 未集計であるため, 「点滅以降進入」についてのみを扱うこととし, 歩行者信号と危険行為発生割合を相関分析し, 傾向を探る. その結果, Farside 流入の自転車の危険行為発生割合と, 青点滅時間や赤時間との間に正の相関がみられた(青点滅時間: $r=0.64$, 赤時間: $r=0.60$). つまり, 青点滅時間や赤時間が長くなるにつれて, 点滅以降進入が発生しやすい状況になりうるといえる. これは, 時間が長くなるにつれて自転車利用者が赤信号待ちを避けようと考え, 自転車であれば, 大規模な交差点であっても小さな横断時間で横断を終えることが可能であるため, 無理な横断をする傾向にあると推察される.

以上より, 自転車の危険行為には, 信号時間と関連性があり, 青点滅時間や赤時間が長いと, 無理な横断が生じている可能性があることがわかった.

表-6 危険行為発生割合と交差点特性との相関分析結果

	Nearside流入			Farside流入		
	フライング	青点滅以降進入	残留	フライング	青点滅以降進入	残留
青点滅時間 上:相関係数 下:有意確率(両側)	0.12 (0.76)	0.31 (0.42)	0.35 (0.35)	0.31 (0.42)	0.41 (0.27)	0.39 (0.30)
赤時間 上:相関係数 下:有意確率(両側)	0.70** (0.03)	0.28 (0.47)	0.36 (0.34)	0.55 (0.13)	0.27 (0.48)	0.54 (0.13)

正の相関あり($0.4 < r \leq 0.7$) ** : 5%有意

表-7 自転車の横断歩道進入タイミング定義

横断歩道	青前	青	青点滅	赤
NO _E	AR2	1φ	2φ	3φ~AR1
NO _S	AR1	5φ	6φ	7φ~AR2
H _W	AR2	1φ	2φ	3φ~AR1
H _S	AR1	5φ	6φ	7φ~AR2

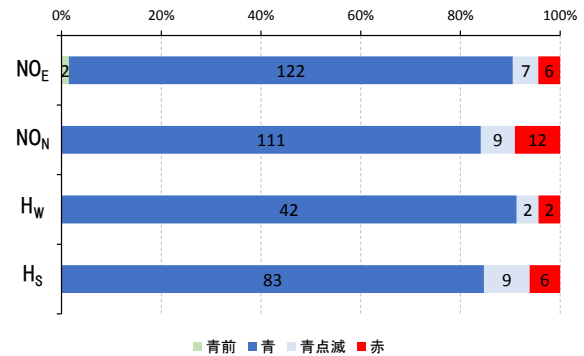


図-6 自転車の横断歩道進入タイミング (Nearside 流入)

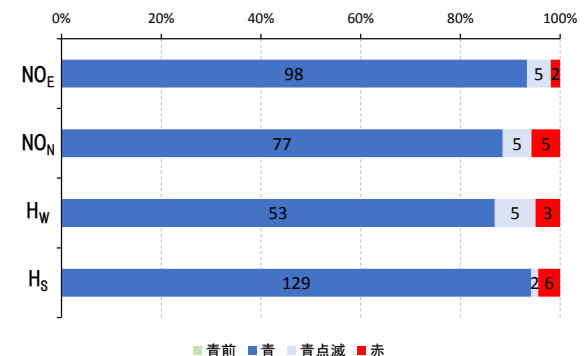


図-7 自転車の横断歩道進入タイミング (Farside 流入)

4. 左折車の危険行為と交差点特性の関連性分析

本章では, 横断者の交差点利用状況を踏まえた上で, 道路交通法(以降, 道交法)を参考に, 危険行為を定義し, 危険行為の発生状況と交差点特性の関連性について分析を行う.

(1) 左折車の交差点進入タイミング

本節では, 左折車の交差点を利用する左折車の流入時に着目した走行挙動について分析をする. また, 左折車

の流入時を流入側の停止線を通じた瞬間を流入時を判断する。また、左折車の流入タイミングを青時間の三分割した「青（序盤）」、「青（中盤）」、「青（終盤）」と車両用現示が青に変わる前の「青点灯前」、「黄」、「赤」の6段階に定義し、左折車の流入タイミングを集計する。この理由として、交差点によって車両用信号の青時間は異なるため、左折車の進入可能青時間を1とした流入タイミングの割合で比較するためである。左折車の流入タイミング定義を表-8に、左折車の流入タイミング割合集計結果を図-8に示す。

図-8より、どの横断歩道においても、「青（序盤）」の進入割合が多く、「青（中盤）」と「青（終盤）」はほぼ同程度か、「青（終盤）」に近づくにつれて減少する傾向であるとわかる。ここで、図-4、図-5の歩行者流入タイミングと照らし合わせると、「青（序盤）」には、流出横断帯において青前や青に横断を開始する歩行者も存在していることから、横断者の影響により、隅角部付近で横断者の流れが途切れるのを待つために、左折車が待機する現象が起きやすく、「青（終盤）」にさしかかると、横断者も少なくなり左折車もスムーズな左折をしやすくなると予想される。なお、「青点灯前」に進入する左折車はほぼ存在せず、「黄」、「赤」についてはSOとHFで約7%の左折車が進入しているが、全体に占める割合としては小さいことがわかる。

(2) 交通状況別左折車流入速度に関する分析

前節では、左折車の流入タイミングについて集計を行い、歩行者の流入タイミング結果を踏まえた左折車流入タイミングについて考察を行った。本節では、交通状況別の左折車流入速度に着目して分析を行う。

a) 左折車の流入タイミングと流入速度の関係性分析

本項では、左折車の流入タイミングと流入速度の関係性について分析を行う。前節で定義した流入タイミングごとの左折車の平均流入速度と標準偏差算出結果を表-9に示す。

表-9より、どの横断歩道も青現示開始から時間が経過するにつれて、交差点の流入速度が上昇している傾向にあることがわかる。こちら、「青（終盤）」では、歩行者信号は青点滅や赤の時間帯と重なり、図-4、図-5より横断者も少ない時間帯である。そのため、流出横断帯の手前で待機することなく、左折を行うことがしやすい時間帯であると思われるため、流入速度が高い傾向にあると推察される。

以上より、左折車は流入タイミングが青開始から時間が経つにつれて、流入速度も上昇する傾向にあると推察される。

表-8 左折車の交差点進入タイミング定義

横断歩道	青前	青	黄	赤
SO _W	AR2	1φ~3φ	Y1	4φ~AR1
SO _S	AR1	5φ~7φ	Y3	8φ~AR2
SH _E	AR2	1φ~3φ	Y1	4φ~AR1
HF _S	AR1	5φ~7φ	Y3	8φ~AR2
HF _N	AR1	5φ~7φ	Y3	8φ~AR2
NO _W	AR2	1φ~3φ	Y1	4φ~AR1
NO _S	AR1	5φ~7φ	Y3	8φ~AR2
H _E	AR2	1φ~3φ	Y1	4φ~AR1
H _S	AR1	5φ~7φ	Y3	8φ~AR2

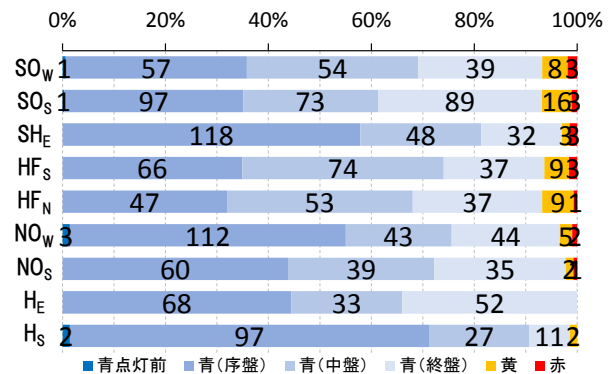


図-8 左折車の交差点進入タイミング割合

表-9 流入タイミング別平均速度と標準偏差[km/h]

横断歩道	青現示前	青現示序盤	青現示中盤	青現示終盤	黄	赤	
SO _W	平均速度	6.79	16.93	21.37	26.10	30.00	11.95
	標準偏差		5.71	8.47	9.09	7.39	
SO _S	平均速度	5.24	17.64	24.37	25.24	25.02	
	標準偏差		4.51	7.63	7.22	5.29	
SH _E	平均速度		7.98	10.60	12.74	18.35	
	標準偏差		3.85	6.03	5.40	3.21	
HF _S	平均速度		21.52	24.70	24.95	30.39	
	標準偏差		6.73	6.60	10.47	10.03	
HF _N	平均速度		19.13	22.26	27.59	29.77	
	標準偏差		4.74	4.17	5.09	5.93	
NO _W	平均速度	6.88	9.83	10.29	15.11	27.51	26.46
	標準偏差	0.58	4.15	5.28	9.76	10.15	9.26
NO _S	平均速度		11.93	16.78	18.30	24.76	
	標準偏差		4.40	8.05	7.27	2.42	
H _E	平均速度		20.62	28.00	32.44	34.66	
	標準偏差		4.88	8.81	4.86	6.19	
H _S	平均速度	4.38	14.68	19.64	22.08	17.56	
	標準偏差	1.08	4.22	4.62	3.86	5.66	

(3) 左折車の危険行為に関する分析

a) 左折車危険行為の定義

前節での分析により、左折車は交差点流入時の交通状況によって流入速度が変化している傾向にあることがわかった。特に、青開始から時間が経過するにつれて速度が上昇、また横断者はいない際の平均速度は、20[km/h]を超えている交差点も存在している。しかし、道交法では交差点流入時は、すぐに停止することができるように徐行しなければならない。徐行を示す具体的な速度定義はないものの、交差点設計の際に、車両の徐行速度は20[km/h]とするのが一般的である。このことを踏まえ、本研究では徐行の閾値を20[km/h]とし、閾値を越えた速

度での流入行為を危険行為とし、「交差点非徐行流入」と定義する。その他、流出側横断歩道における交錯領域とその両端より3mの中に、進行方向が交錯する横断者がいるのにも関わらず、流出横断帯を通過する行為を「横断者優先権無視」、左折車が先行車の横に移動する際、先行車の後ろで一時停止することなく、そのまま横で移動する行為を「先行車側方通過前一時不停止」、左折車が先行車の横を追い抜く際、一時停止せずに追い抜く行為を「横断歩道直近での先行車追い抜き」と定義し、この4つの危険行為について分析を行う。なお、「交差点非徐行流入」は前項と同様、先行車が存在していない自由走行が可能な左折車を対象とする。

b) 左折車危険行為の発生状況

前項で定義した左折車の危険行為の発生状況について、歩行者と同様、取得時に確認された交差点ごとの危険行為発生件数を、取得サイクル数で除した1サイクルあたりの危険行為発生件数で集計を行う。各危険行為の1サイクルあたりの発生件数と取得サイクル数を表-10に示す。

表-10より、「交差点非徐行流入」は、ほとんどの交差点で1サイクルあたり1回は流入速度が20[km/h]を超えた自由走行左折車が利用している状況が発生していることになる。特に、SOsでは1サイクルあたり3回も発生しており、他の交差点よりも多く発生していることがわかる。

「横断歩行者優先権無視」に関しては、SOs, HFsで1サイクルあたりの発生件数が0.5回以上であることがわかる。つまり、2サイクルに1回は、左折車の前を横断しようとしている横断者がCZ内にいるにも関わらず、流出横断帯を通過してしまうケースが発生していることになる。

「先行車側方通過前一時不停止」は、SOw, SOs, HFsでは、1サイクルあたり1回以上発生しており、特にSOsでは、1.91回と、他の横断歩道よりも発生していることがわかる。よって、SOw, SOs, HFsでは、横断歩道長が大きくなると流出車線も増加するため、歩道先行車がいる場合、二重左折をしやすい構造になっており、そのため発生台数も多いと推察される。また、「横断歩道直近での先行車追い抜き」も、先行車側方通過前一時不停止行為と同様の傾向があることがわかる。

c) 統計的手法を用いた左折車危険行為と交差点特性の関連性分析

前項より、各危険行為の1サイクルあたりの発生件数は、交差点ごとに異なっていることがわかった。つまり、危険行為の発生件数には交差点構造や交通状況、信号指示など交差点特性の影響があると考えられる。そこで、

表-10 1サイクルあたりの各危険行為発生件数

横断歩道		交差点非徐行流入	横断者優先権無視	先行車側方通過前一時不停止	横断歩道直近での先行車追い抜き	サイクル数
SOw	1サイクルあたりの発生件数	1.00	0.39	1.00	0.61	23
	危険行為発生件数	23	9	23	14	
SOs	1サイクルあたりの発生件数	3.00	0.52	1.91	0.35	23
	危険行為発生件数	69	12	44	8	
SHe	1サイクルあたりの発生件数	1.48	0.39	0.11	0.05	44
	危険行為発生件数	65	17	5	2	
HF _s	1サイクルあたりの発生件数	1.31	0.78	1.00	0.44	32
	危険行為発生件数	42	25	32	14	
HF _n	1サイクルあたりの発生件数	1.59	0.47	0.41	0.22	32
	危険行為発生件数	51	15	13	7	
NOw	1サイクルあたりの発生件数	1.44	0.32	0.06	0.06	34
	危険行為発生件数	49	11	2	2	
NO _s	1サイクルあたりの発生件数	1.76	0.09	0.21	0.00	34
	危険行為発生件数	60	3	7	0	
He	1サイクルあたりの発生件数	2.08	0.21	0.18	0.05	39
	危険行為発生件数	81	8	7	2	
Hs	1サイクルあたりの発生件数	0.75	0.05	0.02	0.00	126
	危険行為発生件数	94	6	2	0	

表-11 左折車危険行為発生モデルのパラメータ推定結果

説明変数	定義
横断歩道長[m]	横断歩道の長さ
流入セットバック[m]	左折車の流入側のセットバックの長さ
流出セットバック[m]	左折車の流出側のセットバックの長さ
隅角比	流入セットバックの長さを流出セットバックの長さで除した値
曲率半径[m]	左折車の走行する交差点隅角部の半径
補正隅角比[m]	隅角比と曲率半径を乗じた値
流入タイミング(青序盤)ダミー	車両用現示の青序盤に流入したら1、そうでなければ0
流入タイミング(青中盤)ダミー	車両用現示の青中盤に流入したら1、そうでなければ0
流入タイミング(青終盤)ダミー	車両用現示の青終盤に流入したら1、そうでなければ0
流入タイミング(黄以降)ダミー	車両用現示の黄点灯以降に流入したら1、そうでなければ0
流出車線数[本]	左折車の流出先の車線数
横断者の有無	流出横断歩道に横断者がいたら1、そうでなければ0

表-12 交差点非徐行流入発生モデルのパラメータ推定結果

サンプル数	p	的中率(非徐行、徐行)	
554	0.555	87.2%(79.8%、92.9%)	
説明変数	パラメータ推定値	標準誤差	オッズ比(1/0)
補正隅角比	1.724***	0.466	5.606
流出車線	0.291*	0.174	1.338
流入セットバック	0.257***	0.085	1.293
流出セットバック	0.198***	0.076	1.219
隅角比	-25.246***	7.239	1.09E-11
青序盤[1]	-2.184***	0.237	0.013
曲率半径	-1.092***	0.338	0.336
青中盤[1]	-0.588**	0.243	0.308
横断者有無[1]	-0.587***	0.191	0.309
切片	10.114*	5.169	

本項では、各危険行為の発生件数と関連性のある交差点特性を明らかにする。なお、本研究では、交差点利用した全左折車に対し交差点流入からの挙動と交通状況を取得しているため、左折車が各危険行為に該当するかどうかを2項(危険行為に該当:1, 該当しない:0)で判別している。ゆえに、各危険行為の該当有無を目的変数としたロジスティック回帰分析を採用し、交差点特性の与える影響について分析を行うこととする。なお、ロジスティック回帰分析対象の危険行為は、1サイクルあたりの危険行為発生件数が1[件/サイクル]を上回る「交差点非徐行進入」と「先行車側方通過前一時不停止」の2つを対象に行うこととする。ロジスティック回帰分析の説明変数候補を表-11、各危険行為の分析結果を表-12と表-13に示す。

表-12より、「交差点非徐行流入」行為の発生率は、主に構造特性の補正隅角比や流入セットバック、流出セットバックが正のパラメータ推定値となった。つまり、交差点構造が大きくなるにつれて、危険行為が発生しやすいことを示している。また、交通特性については、左折車の流入タイミングが「青（序盤）ダミー」, 「青（中盤）ダミー」が負のパラメータとなり、危険行為が発生しにくい傾向にある結果となった。これは、第4章での流入タイミング別流入速度の分析結果と同様な理由が挙げられる。また、「横断者有無ダミー」も負のパラメータであるが、この結果も、第4章での横断者存在別流入速度の分析結果と同様な理由が挙げられる。ゆえに、この結果については妥当な結果となっていると考えられる。

表-13より、「先行車側方通過前一時不停止」行為については、モデル全体的の中率は90%を超えるものの、危険行為に該当する「1」の的中率は、19.3%（135件のうち26件）しかなく、決して十分なモデルとは言えないが、採用された説明変数の結果から、「流出車線」が正であることから、車線数が多いと先行車側方通過前一時不停止行為が発生しやすい傾向にあることがいえる。これは、車線が多いと車両の流出断面が大きくなるため、第1車線が先行車で埋まっても、外側の車線へ移動しやすい状況が生まれやすいことを意味する。また、「流入セットバック」が正であるが、これは流入セットバックが長いほど、左折車が交差点流入後、流出側の状況を確認する時間も長くなり、先行車が存在していた場合、外側の車線へ移動する選択が容易となるためである。

以上より、交差点構造が大きくなるほど危険行為は発生しやすく、また、「交差点非徐行流入」行為は、横断者が横断歩道上に存在する「青（序盤）」や「青（中盤）」では、危険行為は発生しにくいことがわかった。

5. 歩行者と車両間の交錯危険性に関する現況分析

(1) 交錯危険性の評価指標

本研究では、歩行者と車両間の交錯危険性を定量的に評価するため、交錯地点を通過する時刻差として定義されるPET(Post Encroachment Time)指標²⁾が良く用いられる。PET指標の式を式(1)に、PET指標定義図を図-9に示す。

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

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

式(1)より、PET指標は、交錯点を両者が通過した時間差で表されるため、簡易的でわかりやすい指標であると言える。また、本研究では、歩行者が先行して交錯点を通過し、その後車両が通過する交錯の中でも、特に危険

表-13 先行車側方通過前一時不停止発生モデルのパラメータ推定結果

サンプル数	ρ^2	的中率(非徐行、徐行)	
1,612	0.218	91.6%(19.3%、98.2%)	
説明変数	パラメータ推定値	標準誤差	オッズ比(1/0)
流出車線	1.183*	0.122	3.265
補正隅角比	0.295*	0.092	1.343
流入セットバック	0.137*	0.029	1.147
隅角比	-4.441*	1.404	0.012
横断者有無	-0.338*	0.116	1.967
切片	-6.919*	0.479	

*:1%有意、**:5%有意、***:10%有意

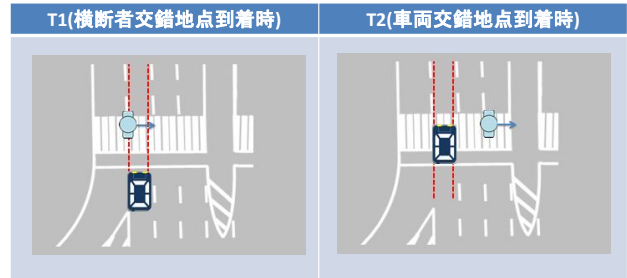


図-9 PET 指標定義図



図-10 危険交錯発生位置の定義

な交錯（以降、歩行者先行危険交錯）に着目することとする。なお、本研究では、歩行者対車両の交錯ではPETが1.9[s]以下の場合を危険交錯とする。また、交錯エリア内をさらに細かいエリアに分割し、詳細な発生位置についても集計を行う。危険交錯発生位置の定義図を図-10に示す。

(2) 歩行者と車両間の危険交錯事象の現況分析

本節では、危険交錯の現況について集計し、どのような状況下で発生しているのは整理する。

まず、横断歩道別危険交錯発生位置別の交錯頻度とPET平均値を集計する。結果を表-14に示す。

表-14より、1 サイクルあたりの歩行者先行危険交錯頻度は、SO_w, SO_s, NO_wにおいて0.2[回/サイクル]以上であることが見てとれる。その中でもN_wは最も多く、エリア2、エリア5で3回の歩行者先行危険交錯が確認でき、この2つのエリアはともに歩行者横断帯(交差点側)であり、ここで計6回とN_wの全歩行者先行危険交錯の約67%の危険交錯が発生していることになる。歩行者横断帯(交差点側)において、複数回の歩行者先行危険交錯が発生しているのは、NO_wの他にSO_s, SH_E, H_E,

H_Sがあり、SO_Sでは全歩行者先行危険交錯の約 80%、SH_Eでは約 71%、H_Eでは約 50%、H_Sでは約 83%を占めている。また、自転車横断帯で発生する歩行者先行危険交錯は、全横断歩道を合計しても 5 回しか発生しておらず、歩行者先行危険交錯合計回数約 11%しか発生していない。このことから、歩行者先行危険交錯は歩行者横断帯において多く発生していることが推測できる。また、N_Sにおいては、今回の取得時間帯の中では歩行者先行危険交錯は確認できなかった。

PET 平均については、1.5[s]以下の横断歩道は、SO_W、N_W、H_E、H_Sであり、その中でも H_Sは PET 平均が最も小さく、1.05[s]である。ここで、SO_W、NO_Wは、1 サイクルあたりの歩行者先行危険交錯頻度も調査横断歩道の中では多いが、H_E、H_Sは、SO_W、NO_Wに比べると多いとは言えず、特に H_Sは 0.05[回/サイクル]である。歩行者先行危険交錯頻度は少ないが、PET 平均が小さいことから、1 回あたりの危険交錯の危険性が他より高いと推察される。また、PET 平均が 1.5[s]以下の横断歩道では、PET 平均が 1.5[s]よりも大きい横断歩道に比べて、ばらつきが大きいこともわかる。よって、PET 平均が小さな危険交錯が発生する横断歩道では、同じ歩行者先行危険交錯でも、外的要因を受けた異なる交錯が発生し得ると考えられる。

次に、危険交錯発生時の交通状況について集計を行う。危険交錯発生タイミングの歩行者信号の内訳を表-15に、危険交錯を行う左折車の危険行為発生割合を表-16に示す。

表-15より、歩行者先行危険交錯の発生タイミングは、歩行者信号が青のときが最も多く、約78%である。つまり、横断者に優先権がある時間帯において、横断歩道上では危険な交錯が最も発生しているといえる。

表-16より、歩行者先行危険交錯を行う左折車の中には、危険行為を伴う交錯であることがわかった。特に、先行車を追い抜く際に、一度止まり安全確認をしていない状況で危険交錯が発生しているとも考えられる。

以上より、危険交錯の発生位置や危険性、発生時交通状況など、現況について把握した。左折車の危険行為も交錯危険性に影響する可能性があることもわかった。

6. 感度分析を用いた交差点改良による左折車の危険行為抑制評価

第4章にて、2つの危険行為判別モデルを構築したことにより、交差点構造や左折車の進入タイミングが危険行為の要因となっていることがわかった。この結果を踏まえ、交差点改良や信号現示の見直しを考慮した感度分析を行い、危険行為の抑制効果について評価を行う。なお、本研究では、「流入セットバック」、「流出セットバック

表-14 歩行者先行危険交錯の交錯特性諸量

交錯エリア	歩行者先行危険交錯								
	SO _W	SO _S	SH _E	HF _S	HF _N	NO _W	NO _S	H _E	H _S
1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
2	0	0	2	0	1	3	0	1	4
3	0	0	1	0	1	1	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	2	2	1	0	3	0	1	1
6	1	0	1	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	1	0	0	0	0
8	0	0	1	0	2	0	0	0	0
9	2	1	0	0	0	1	0	2	2
10	0	2							
11	0	0							
12	1	0							
交錯数	5	5	7	1	6	9	0	4	6
1サイクルあたりの交錯頻度	0.22	0.22	0.16	0.03	0.19	0.26	0.00	0.10	0.05
1	-	-	-	-	1.49	-	-	-	0.15
2	-	-	1.80	-	1.77	1.21	-	1.86	1.27
3	-	-	1.80	-	1.71	1.02	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	1.31	1.39	1.79	1.8	-	1.17	-	1.02	1.05
6	1.52	-	1.69	-	-	0.35	-	-	-
7	-	-	-	-	1.43	-	-	-	-
8	-	1.70	1.65	-	1.58	-	-	-	-
9	1.41	1.50	-	-	-	1.49	-	1.28	-
10	-	1.71	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	1.80	-	-	-	-	-	-	-	-
全体平均	1.49	1.59	1.76	1.80	1.59	1.11	-	1.36	1.05
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	0.091	-	-	0.145	-	-	0.314
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	0.100	0.071	-	-	0.295	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	0.004	-	-	0.001	-	-	-	-
9	0.293	-	-	-	-	-	-	0.563	-
10	-	0.094	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
全体標準偏差	0.251	0.157	0.084	-	0.115	0.350	-	0.503	0.481

※赤字:1サイクルあたりの交錯頻度が0.2回を超えるもの(危険交錯)

■ PET平均が1.5[s]以下のもの

表-15 歩行者先行危険交錯の発生タイミング

青	青点減	赤
78%	16%	6%

表-16 歩行者先行危険交錯時の左折車危険行為発生割合

交差点非徐行流入	先行車側方通過前一時不停止	横断歩道直近での先行車追い抜き
11%	16%	4%

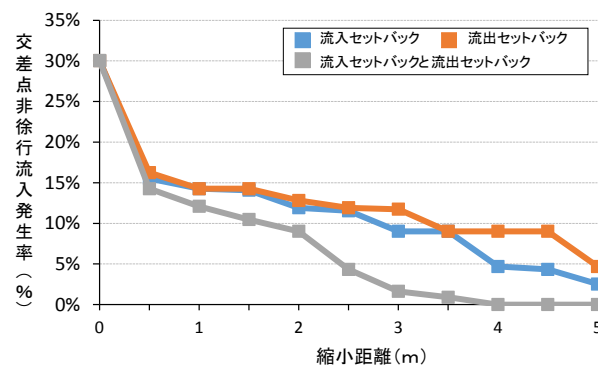


図-11 ケース別感度分析結果

「流入セットバックと流出セットバック」を現状より0.5mずつ縮小したと3ケースを仮定し、危険行為発生率の推移を比較する。感度分析による左折車危険行為発生率の推移結果を図-6に示す。

図-11より、「流入セットバックと流出セットバック」を同時に縮小させたほうが一番抑制効果大きいことがわかる。「流入セットバック」と「流出セットバック」で比較をすると、発生率は「流出セットバック」のほうが低下しているものの、両者の変動傾向に統計的に有意

な差が見られなかった ($t=-0.48$)。ゆえに、危険行為を抑制する場合、今回のケースでは流入セットバックと流出セットバックを同時に縮小させるケースが最も抑制されることがわかった。

7. まとめ

本研究では、交差点利用者の危険行為発生状況と交錯危険性や現況について把握した。その結果、危険行為には交差点構造や信号現示など、様々な交差点特性が影響していることがわかった。また、歩行者先行の危険交錯では、歩行者信号が青のときに最も発生していること、また、左折者の危険行為が影響している交錯事象もあることがわかった。

今後は、各利用者の危険行為や交錯危険性を同時に評価し、実際の利用状況に近い条件のもと分析を進めていく。また、交差点に関する情報を更に増やし、現実的な信号現示の改良を想定した感度分析を行い、安全面における最適な交差点改良や信号現示の見直し案を考えていく。

謝辞：本稿の執筆にあたり、名古屋工業大学大学院鈴木研究室の安田様、今田様、堀川様にデータ分析に多大なご協力を頂きました。ここに感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 鈴木一史・中村英樹：交通流解析のための簡便な多機能ビデオ画像処理システムの開発，第24回交通工学研究発表会論文集，pp.69-72, 2004.10.
- 2) Allen, B.L. Shin, B.T. and Cooper, D.J: Analysis of traffic conflicts and collision, Transportation Research Record, 677, 67-74, 1978

(2016. 4. 22 受付)