

歩行者と左折車の危険交錯事象と交差点構造の 関連性分析

伊藤 大貴¹・鈴木 弘司²

¹学生会員 名古屋工業大学大学院 博士前期課程学生 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)
E-mail: cju13509@stn.nitech.ac.jp

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

本研究では、近年、事故が発生した大規模交差点の中から、横断歩道長やセットバックの異なる複数の大規模交差点を選定し、歩行者と左折車の挙動を取得する観測調査を行い、歩行者と左折車の潜在的危険性の評価を行った。観測データから、歩行者と左折車の通行タイミング、軌跡を分析した結果、横断歩道長、セットバックが異なると、歩行者の危険行動発生率に影響があることがわかった。また、PET等のコンフリクト指標を用いて、交差点構造の違いによる危険交錯事象への影響を分析した。さらに、調査交差点にて発生した事故事例と比較することで、横断歩道長やセットバックの異なる交差点における、事故発生に関連する潜在的危険性の特徴を歩行者視点で整理することができた。

Key Words :traffic safety ,intersection geometry,
conflict among pedestrians and left turn vehicles ,potential risk

1. はじめに

多車線道路が交差する大規模交差点では、停止線や横断歩道のセットバック量などが大きく設定されがちである。その結果、左折車の交差点通過時速度が高くなり、また、歩車間の交錯領域が広がるため、歩行者と左折車の巻き込み事故といった重大事故の危険性が増加する。そのため、大規模交差点の事故の予防対策が求められ、現在各地で交差点コンパクト化などの安全対策が実施されている。ここで、顕在化した事故の件数による安全性評価は存在するが、交通事故は稀な事象であり、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、事故を評価するのではなく、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、国土交通省中部地方整備局の資料を参考に、平成19年から平成22年の間に、歩行者と左折車の事故が発生している交差点において、ビデオ観測調査を行い、ビデオから得られた歩行者、左折車の挙動、また両者の交錯事象を分析し、交差点構造により影響を受ける潜在的危険性について歩行者視点から評価する。

2. 対象交差点と調査概要

(1) 対象交差点の概要

本研究では、名古屋市中区の桜通大津の西部（以降、 O_W ）と南部（以降、 O_S ）桜通本町の東部（以降、 HE ）、広小路伏見の南部（以降、 FS ）と、北部（以降、 FN ）、名古屋市北区の山田四丁目の東部（以降、 YE ）、名古屋市天白区の植田一本松の東部（以降、 UE ）の5交差点、計7横断歩道を分析対象とする。また、交差点の選出には、交差点構造による左折者と横断歩行者の事故の潜在的危険性を定量化すること、また、実際の事故事例との比較を行うために、過去4年間に左折車と歩行者の間に事故が発生してい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、横断歩道長の異なる点に着目している。

対象横断歩道の構造特性と平成19年から平成22年までの4年間に発生した歩行者と左折車の事故件数を表-1に、対象交差点の1サイクルあたりの交通量を表-2に、交差点構造の定義を図-1に、対象交差点の現示階梯図を図-2に示す。なお、交差点U、Yは、時間帯によって現示やサイクル長が変化し、交差点Uは145~175[s]、交差点Yは160と170[s]のサイクル長が設けられている。

表-1 対象横断歩道の構造特性と事故発生件数

	交差点構造特性							事故件数 [件/4年]
	横断歩道長 [m]	セットバック [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	流出部	
O _W	32.3	14.2	4121.2	90	90	5	4	2
O _S	27.5	19.9		90	90	5	4	0
H _E	33.3	5.4	1342.9	90	90	5	3	0
F _S	34.5	13.8	3422.9	90	90	5	3	1
F _N	34.7	12.5		90	90	5	3	0
U _E	26.3	8.8	2333.4	64	125	3	2	1
Y _E	13.7	9.0	1748.9	112	55	4	1	1

表-2 対象横断歩道の1サイクルあたりの交通量

	横断者		左折車	
	歩行者 [人]	自転車 [台]	車両数 [台]	大型車 混入率[%]
O _W	29	10	8	3.93
O _S	28	7	12	2.52
H _E	12	8	10	3.02
F _S	48	16	17	2.64
F _N	26	9	12	4.53
U _E	2	4	6	5.45
Y _E	2	5	9	23.10

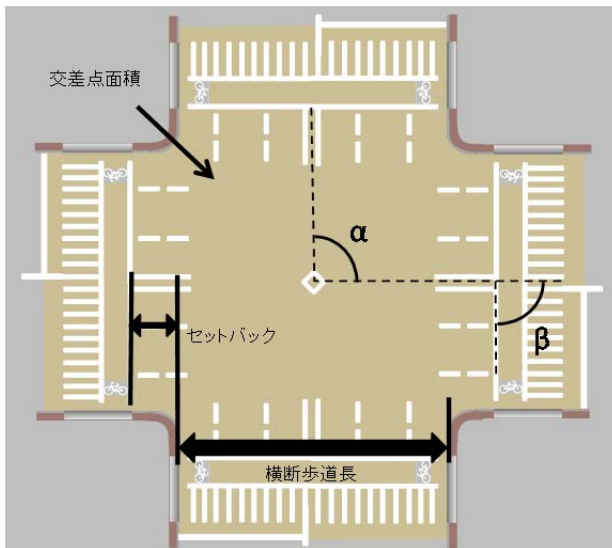


図-1 交差点構造特性の定義図

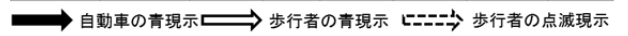
図-2には、そのうちの一例を示す。

交差点 O, H, F, U は、単純 4 現示制御であるのに対して、交差点 Y は、東西方向時差式を採用しており、東から流入する車両には、右折矢表示が用いられておらず、西から流入する車両には、右折専用現示を設けることで、対向車や歩行者との動線を分離させているところが、大きな違いである。

(2) 調査概要

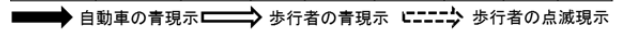
本稿では、観測調査で取得したビデオ映像データを用いて分析を行う。分析映像の日時を表-3 に示す。なお、ビデオデータの分析には、画像解析システム¹⁾を用い

交差点名	1φ	2φ	3φ	Y1	4φ	Y2	AR1	5φ	6φ	7φ	Y3	8φ	Y4	AR2	C
O	37	10	2	4	12	2	5	48	10	2	4	17	2	5	160
H	39	10	2	3	9	2	5	61	5	2	3	14	2	3	160
F	63	7	2	4	7	2	5	40	10	2	4	7	2	5	160
U	45	10	4	4	7	2	5	54	8	2	3	9	2	5	160



(a) 交差点 O, H, F, U の現示階梯図

交差点名															C	
Y (東→西)	1φ	2φ	3φ	Y1	4φ	Y2	AR1	5φ	6φ	7φ	8φ	Y3	9φ	Y4	AR2	160, 170
Y (西→東)	1φ	2φ	3φ	Y1	4φ	Y2	AR1	5φ	6φ	7φ	8φ	Y3	9φ	Y4	AR2	
(例)	80	6	2	4	5	2	5	31	8	3	1	3	12	3	5	170



(b) 交差点 Y の現示階梯図

図-2 対象交差点の現示階梯図

表-3 分析映像日時

横断歩道名	分析映像日時
O _W	2012年11月1日 10:00~11:00, 11:45~12:15,
O _S	14:00~15:00, 16:15~16:45
H _E	2012年11月1日 10:00~11:00, 11:45~12:15,
	14:00~15:00, 16:15~16:45
	11月2日 8:15~8:45, 11:45~12:15, 16:15~16:45
F _S	2012年11月5日 8:15~8:45, 10:00~11:00, 11:45~12:15,
F _N	14:00~15:00, 16:15~16:45
U _E	2012年11月29日 7:20~9:45, 14:00~16:45
	11月30日 7:20~10:00, 13:30~16:45
Y _E	2012年11月8日 7:40~11:00, 14:20~17:00
	11月9日 7:00~9:45, 14:30~17:30



図-3 左折車の座標データ取得ポイント



図-4 歩行者の座標データ取得ポイント

ている。取得対象は、左折車と歩行者であり、左折車は図-3に示す右側前輪の接地点を、歩行者は図-4に示す両足を線で結んだ中点における重心を地面に下ろした点を取得ポイントとし、0.5[s]間隔で座標データを取得する。交差点 O, H, F は、対象横断歩道を通る左折車すべてと、交錯の生じた歩行者のデータを、交差点 U, Y は、交錯に影響のある左折車、自転車と、全歩行者のデータを取得した。なお、本研究では、交錯は左折者と歩行者の軌跡が交わる事象と定義し、両者の軌跡が交わる点を交錯点（以降、CP）と呼ぶ。

3. 歩行者挙動と交差点構造の関連性分析

本章では、横断歩道を通る歩行者の挙動を分析し、交差点構造との関連性について考える。

(1) 歩行者横断歩道進入タイミング分析

歩行者が、横断歩道に進入するタイミングを、表-4に示すように4つに分類し、分析を行う。なお、表中の現示は、歩行者信号の現示を示している。記号は図-2の現示階梯図のものを使用している。

歩行者が横断歩道に進入するタイミングを図-5に示す。なお、図中の数値は、歩行者数[人]を表している。

図-5より、F_Nは、「青前」に横断歩道に進入する歩行者の割合が唯一20%を超えており、Y_Eは他と比べて「青前」に進入する歩行者の割合が極めて低いことが見てとれる。また、各横断歩道における歩行者の進入タイミングについてカイ2乗検定を行ったところ、有意な差が見られ(p=0.00)、進入タイミングの分布に差異がみられることがわかった。

ここで、「青前」や「点滅」、「赤以降」に進入することは、本来歩行者信号の現示に反している行動である。そのため、「青前」や「点滅」、「赤以降」に進入することを危険行動として捉え、それらの発生率を、横断歩道長、セットバックといった交差点構造の観点から分析し、交差点構造が歩行者にもたらす影響を評価する。今回、危険行動の定義として、歩行者信号が青現示に変わる前に、歩行者が横断歩道に進入したものを「フライング」、歩行者信号が青点滅を開始してから横断歩道に進入したものを「点滅以降進入」、歩行者信号現示が青点滅から赤に変わったとき、歩行者が横断歩道上に存在しているものを「残留」と定義する。また、危険行動発生率[%]は、各危険行動事象数を調査時間帯交通量で除した値に100を乗じたものである。各交差点の危険行動発生率[%]を表-5に示す。

表-5より、O_Wでは「フライング」が高いだけでなく、「残留」が全横断歩道の中で最も高いことがわかる。

表-4 歩行者横断歩道進入タイミング

	青前	青	点滅中	赤以降
O _W	AR2	1φ	2φ	3φ～AR1
O _S	AR1	5φ	6φ	7φ～AR2
H _E	AR2	1φ	2φ	3φ～AR1
F _S	AR1	5φ	6φ	7φ～AR2
F _N	AR1	5φ	6φ	7φ～AR2
U _E	AR2	1φ	2φ	3φ～AR1
Y _E	AR2	1φ	2φ	3φ～AR1

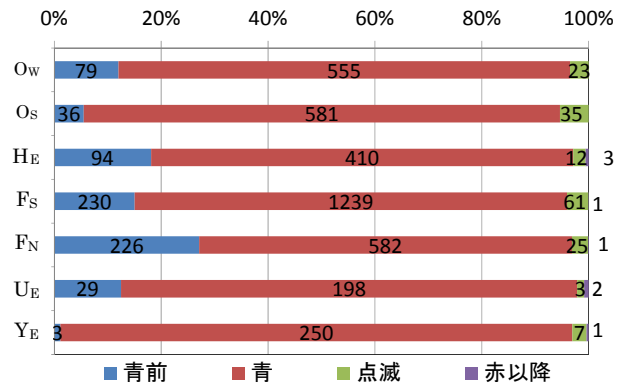


図-5 歩行者の横断歩道進入タイミング

表-5 危険行動発生率[%]

	発生率[%]		
	フライング	点滅以降進入	残留
O _W	12.02	3.50	10.96
O _S	5.52	5.37	10.43
H _E	18.11	2.89	7.71
F _S	15.02	4.05	9.54
F _N	27.10	3.12	9.71
U _E	12.50	2.16	5.60
Y _E	1.15	3.07	4.21

表-6 危険行動発生率と交差点構造の相関分析結果

	フライング	点滅以降進入	残留
横断歩道長	0.80	0.12	0.76
セットバック	-0.20	0.87	0.69

O_Sについては「残留」がO_Wについて2番目に高く、「点滅以降進入」が全横断歩道の中で最も高いことがみてとれる。また、Y_Eは「フライング」が1.15[%]と、他の横断歩道と比べて極めて低いことが特徴である。

(2) 危険行動発生率と交差点構造の関連性分析

横断歩道長とセットバックが、危険行動発生率にもたらす影響を評価するために、各交差点構造と各危険交錯発生率の相関関係を分析する。表-6に分析の結果を示す。

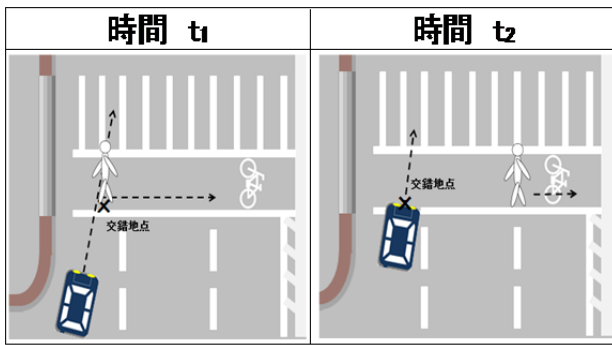


図-6 PETの定義図

表-6より、横断歩道長は、「フライング」や「残留」との間に正の強い相関があることがわかる。横断歩道長と「フライング」の相関が強い理由として、信号現示が青になるまで待機していた歩行者が、少しでも早く横断したいと思い、交差点内の車両が一掃される全赤時に横断を開始してしまうためであると考えられる。また、横断歩道長と「残留」と相関が強いことから、横断歩道長が長くなるにつれ、歩行者が横断歩道内に存在する時間が長くなるため、歩行者が横断歩道に進入するのが青現示であっても、横断が完了する前に現示が赤になってしまうことが発生しやすい傾向にあるものと考えられる。

また、セットバックについては、「点滅以降進入」や「残留」との間に正の相関があることがわかる。このことから、セットバックが長くなると、「点滅以降進入」や「残留」が発生しやすい傾向にあることがわかる。

4. 歩車間交錯と交差点構造の関連性分析

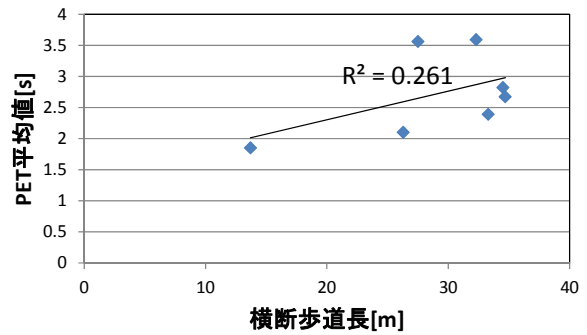
本章では、交錯を起こす二者が、交錯地点を通過する時間の差として定義されるPET (Post Encroachment Time) 指標²⁾を用いて、交差点構造が歩行者と左折車にもたらす交錯危険性について分析する。PET指標は、図-6に示す交錯のとき、式(1)で算出される。

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

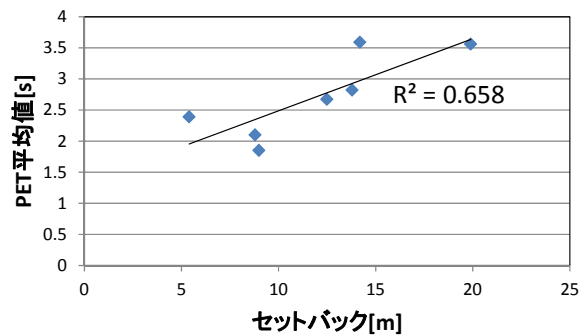
本章では、歩行者が先にCPを通過し、その後、左折車がCPを通過することで発生する交錯（以降、歩行者先行交錯）のPET値に着目する。なお、調査横断歩道は構造条件が異なるため、本研究では、歩行者先行交錯の歩行者が、横断歩道に進入してからCPに到達するまでの平均横断時間を横断歩道ごとに算出し、その値をPET閾値を設定し、PETがその値よりも小さい交錯を歩行者先行交錯と定義する。各横断歩道のPETの閾値を表-7に示す。また、本章では、交差点構造の中でも、特に、横断歩道長とセットバックに着目し、それらが交錯特性、特に、PET平均値と左折車通過平均速度にもたらす危険性を分析する。PET平均値と左折車通過平均速度への影響要因の関係を図-7、図-8に示す。

表-7 PETの閾値

	Ow	Os	He	Fs	Fn	Ue	Ye
正のPET閾値	5.2	5.0	3.5	4.5	4.2	4.1	2.4

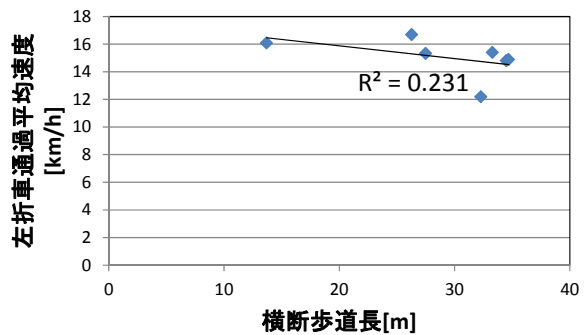


a)横断歩道長

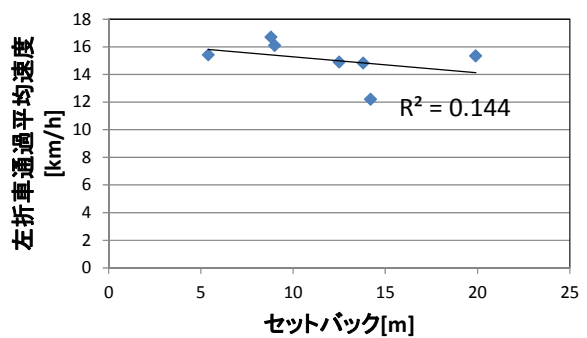


b)セットバック距離

図-7 PET平均値への影響要因



a)横断歩道長



b)セットバック距離

図-8 左折車通過平均速度への影響要因

図-7より、PET平均値は、横断歩道長とセットバックから正の影響を受けていることがわかる。特に、決定係数の値から、PET平均値はセットバックの長さによる影響を大きく受けていることがわかる。つまり、セットバックが長くなるにつれて、PET平均値が大きくなる傾向にあるといえる。

図-8より、左折車通過平均速度は、横断歩道長とセットバックから負の影響を受けていることがわかる。しかし、決定係数の値から、左折車通過平均速度は、横断歩道長からも、セットバックからもそれほど大きな影響を受けていないといえる。

5. 危険交錯と交差点構造の関連性分析

ここでは、歩行者先行交錯の中でも、特にPETの小さな交錯事象（以降、歩行者先行危険交錯）に着目し、PETの大きな値の交錯と、PETの小さい危険な交錯の違いを分析する。また、本章では、歩行者先行交錯に加え、左折車がCPを通過した後、歩行者がCPを通過することで発生する交錯（以降、左折車先行交錯）にも着目し、左折車先行交錯の中でも危険な交錯事象（以降、左折車先行危険交錯）の特徴も分析する。

本章では、PET=2.5[s]以下の交錯を、危険交錯と定義する。この数値は歩行者が危険交錯と感ずる空間が、CPから1車線分以内であると想定し、歩行者が1車線分の幅を歩行するのにかかるおおよその時間である。全横断歩道をこの値で統一することにより、調査横断歩道ごとに、異なる横断歩道長を考慮したPETの閾値を設定する必要がなくなる。

表-8に各交差点構造と歩行者先行危険交錯の影響要因との関係性を、表-9に各交差点構造と左折車先行危険交錯の影響要因との関係性を示す。なお、表中の「1サイクルあたりの危険交錯頻度」とは、調査時間内に発生した危険交錯頻度を調査時間中のサイクル数で除することで算出される危険交錯頻度、「1人あたりの危険交錯頻度」とは、調査時間内に発生した危険交錯頻度を調査時間中の交通量で除することで算出される危険交錯頻度のことである。

表-8より、横断歩道長は「PET平均値」と「左折車通過平均速度」と負の強い相関がみられる。つまり、横断歩道長が長くなると、PET平均値は小さくなり、左折車と歩行者の接触の危険性が高くなってしまふ。また、「左折車通過平均速度」についても、負の相関があることから、横断歩道長が長くなると、左折車通過平均速度が下がる傾向にあることがわかる。これから、横断歩道長は、危険交錯頻度にはそれほど大きな影響を与えていないが、PET平均値や左折車通過平均速度に大きな負の

表-8 各交差点構造と歩行者先行危険交錯への各影響要因の相関分析結果（数値：相関係数）

交錯特性	横断歩道長[m]	セットバック[m]
短時間交錯頻度[h]	0.38	0.76
1サイクルあたりの交錯頻度	0.30	0.83
1人あたりの交錯頻度	0.18	0.71
PET平均値[s]	-0.84	-0.22
左折車通過平均速度[km/h]	-0.86	-0.04

表-9 各交差点構造と左折車先行危険交錯への各影響要因の相関分析結果（数値：相関係数）

交錯特性	横断歩道長[m]	セットバック[m]
短時間交錯頻度[h]	0.57	0.62
1サイクルあたりの交錯頻度	0.45	0.55
1人あたりの交錯頻度	-0.77	-0.32
PET平均値[s]	0.16	-0.14
左折車通過平均速度[km/h]	-0.89	-0.42

影響を与えているといえる。セットバックについては、「短時間危険交錯頻度」、「1サイクルあたりの危険交錯頻度」、「1人あたりの危険交錯頻度」に正の相関がみられた。このことから、セットバックが長くなると、危険交錯頻度が多くなる傾向にあるといえる。一方、「PET平均値」や「左折車通過平均速度」との間にはそれほど強い相関が確認できなかった。これより、セットバックの長さは、危険交錯頻度には大きく影響するものの、交錯の危険性や左折車の挙動には、それほど大きな影響を与えていないといえる。両者を比較すると、横断歩道長やセットバックは、ともに危険交錯の影響要因に関係しているが、それぞれの与えている影響要因が違う傾向にあるということがわかる。

表-9より、横断歩道長は「短時間危険交錯頻度」と正の、「1人あたりの危険交錯頻度」や「左折車通過平均速度」と負の強い相関があることがみてとれる。これから、歩行者先行危険交錯の場合と違い、左折車先行危険交錯においては、横断歩道長が長くなると、1人あたりの危険交錯頻度が減少する傾向にあるとわかる。また、セットバックは、「短時間危険交錯頻度」や「1サイクルあたりの危険交錯頻度」と正の相関がみられる。よって、セットバックが長くなると危険交錯頻度が高くなる。しかし、歩行者先行危険交錯と比較すると、「短時間危険交錯頻度」や「1サイクルあたりの危険交錯頻度」へのセットバックへの影響度は、左折車先行危険交錯のほうが低いといえる。

6. 危険交錯位置と事故発生位置の関連性分析

実際に歩行者対左折車事故が発生した横断歩道 O_S , F_S , U_E , Y_E において、事故の発生位置と、危険交錯の発生位置との関連性を検証するため、事故発生回数と危険交錯頻度を各横断歩道について車線ごとに分類し、分散分析を行う。各横断歩道における車線ごとの事故発生回数と交錯頻度と、分散分析結果を表-10に示す。なお、危険交錯頻度は歩行者先行危険交錯と左折車先行危険交錯の和である。また、横断歩道 Y_E は、車線が1車線のため、表-10に記載するが、検証対象外とする。

表-10より、横断歩道 O_S , F_S , U_E において有意な差が確認できなかった。ゆえに、危険交錯頻度の多い車線で事故が起こっているということを否定することはできないことがわかる。

7. おわりに

本稿では、歩行者の危険行動発生率と横断歩道長やセットバックの相関分析を行い、危険行動と交差点構造の関係性を明らかにした。また、歩行者先行交錯に与える影響の構造的要因や影響度合いを決定係数を用いて明らかにした。さらに、PETの小さな危険交錯と、交差点構造の関係性を分析し、同じ危険交錯であっても、歩行者か左折車どちらが先行した交錯であるかによって、危険交錯特性に与える影響の構造的要因が大きく異なることがわかった。最後に、危険交錯の発生車線と、過去に発生した事故の発生位置の関係を分析したところ、有意な差はないことがわかった。今後は、危険交錯がどのような構造や交通状況下で発生するのかを、統計モデルを構築し推定していく。

表-10 車線別事故発生、交錯頻度と分散分析結果

横断歩道	車線	事故件数[件]	危険交錯頻度[回]	分散分析結果(p値)
O_S	1	0	8	0.429
	2	2	9	
	3	0	4	
	4	0	2	
F_S	1	0	20	0.263
	2	1	9	
	3	0	6	
U_E	1	1	1	0.248
	2	0	2	
Y_E	1	1	8	—

謝辞

本研究は、国土交通省道路局 平成24年度「道路政策の質の向上に資する技術研究開発（改良対策立案のための交差点安全性評価シミュレータの研究開発）」の一環として実施したものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 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TrafficAnalyzerの開発と性能検証，土木学会論文集D, Vol.62, No.3, pp.276-287, 2006.
- 2) Allen, B. L. Shin 他: Analysis of traffic conflicts and collision, Transportation Research Record, 677, 67-74, 1978.