

無信号交差点における見通しと運転挙動を考慮した

自転車利用者の安全性に関する研究

Research on Bicyclist Safety Analysis of Sight Distance and Driving Behavior at Unsignalized Intersections along Highway

都市基盤計画分野 竹中祥人

Abstract

近年自転車利用に対する健康や環境面での関心が高まる一方で、事故全体に占める自転車の関わる事故の割合は漸増傾向にある。自転車事故は信号なし交差点において事故の多いことが報告されている。この要因として、交差点における見通しと運転挙動との関係が示唆されているが、相互関係は明らかになっていない。本研究では、無信号交差点で発生した自転車事故を対象に交差点の見通しと運転挙動との相互関係を実態調査に基づいて分析および考察を行った。

Recently, using a bicycle is recommended as health and the environmental concern, while bicycle involved collision rate tends to increase. Recent some reserches study pointeds- out a sight distance and drivers's behavior at unsignalized intersections, so it is necessary to further investigate the relationship for the accidents .Therefore, the purpose of the study is to understand factor of car-cycle accidents focused on safety behavior by visibility of intersections along highway

1. はじめに

近年自転車利用に対する健康や環境面における関心が高まる一方で、事故全体に占める自転車事故の割合は漸増傾向にある。自転車事故の多くが交差点における出会い頭事故であり、亀井¹⁾らの幹線道路における自転車事故の分析結果では信号制御のない交差点において事故リスクが高まるということが報告されている。近年では自転車が安全・快適に走行できるように、自転車通行帯の整備が歩道および車道上進められているが、交差点における自転車事故要因については明確になっていない。これまで整備されてきた自転車走行環境に対し、客観的な事故分析に基づいて、交通挙動への影響と課題を明らかにし、安全性を高めていく必要がある。

自転車の安全性に関連した研究は多く見られ、その中で幹線道路における自転車に関する既往研究として、金子²⁾らは東京都内の幹線道路15.2km区間における小交差点で発生した事故において2002年～2005年に発生した自転車事故について整理した結果、従道路から幹線道路へと進入する自動車と幹線道路沿いの歩道を走行する、従道路側から見て左側から交差点に進入する自転車

との接触が多いことを指摘した。海外の事例では、Hekki Summla³⁾らが見通しの悪い交差点における事故要因の一つとして、自動車右折（日本における左折）時に、ドライバーが幹線道路を走行する車両を確認するため左方向に注意が傾くためと考察している。王⁴⁾らは兵庫県加古川市内に歩道のある幹線道路小交差点157箇所を抽出し、交差点左右の見通しを現地で段階評価を与え事故と関係分析を行った。結果、左側の見通しが右側に比べ悪い交差点において出会い頭事故件数や事故率が高くなることを明らかにした。また従道路から幹線道路へと合流する自動車の挙動を分析した結果、左側の見通しが右側の見通しより良い交差点と比べて、手前で安全確認を終えている傾向にあると指摘した。このように、見通しと運転挙動との関係について研究が進められているが、自転車事故との関連性や交差点見通しと運転挙動の相互関係による事故への影響は明らかになっていない。

そこで本研究では、信号なし交差点における見通しに関わる交差点の構成要素を道路構造・建築境界を基に評価し、車両×自転車の出会い頭事故との関係を分析した。

次に、分析結果に基づいて見通し条件の異なる無信号交差点において現地観測を行い、交差点の見通しに関わる構成要素と運転挙動の相互関係から、自転車事故多発の要因について考察を行うこととした。

2. 研究方法

2.1 分析対象交差点事故データ

本研究では、自転車事故の多い兵庫県尼崎市内を対象に、H16～22年の車両×自転車事故に事故分析を行った。事故類型別の構成率を図1に示す。信号なし交差点で発生した出会い頭事故が8割を超えていることが分かる。そこで、「幹線道路沿い」の「無信号交差点」における「車両×自転車事故」を抽出し、詳細な分析を行うこととした。関連する統計データとして、交通量等については、H17・22年の道路交通センサスを用い、交通量が観測されている幹線道路のうち、道路規模の大きい国道、居住地区に多く接続する県道・市道のように、様々な道路を選定した。各道路において兵庫県事故図より自転車の進行方向別に事故件数を集計した。結果、表1に示すように事故全体に占める自転車が逆走方向の事故の割合が約85%程度と高いことがわかる。

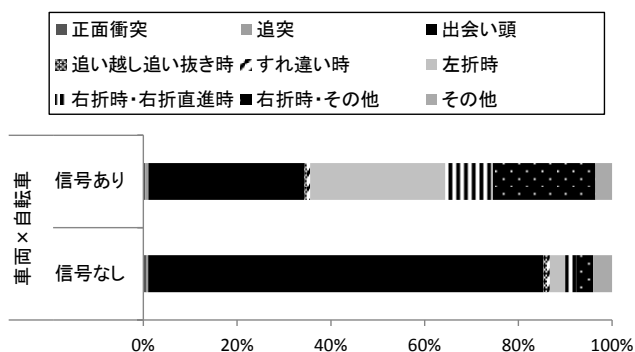


図1 事故類型別車両×自転車事故発生割合

表1 分析対象交差点とH16～22年事故発生件数

路線分類	路線名	交差点 個数	H16～22年計	
			順走	逆走
国道	国道2号	59	17	80
	国道43号	34	1	16
	国道171号	4	0	0
県道	尼崎池田線	28	1	25
	大阪伊丹線	40	4	23
	尼崎宝塚線	25	1	9
	米谷昆陽尼崎線	32	4	35
市道	五合橋線	7	1	4
	道意線	53	5	21
合計		282	34	213

2.2 見通し評価指標の設定

本研究では、対象とする282個の交差点において、見通し状況と事故との関係を簡易的に分析するために、

GIS地図ソフト、ゼンリンZmap-TOWN IIを用いて見通し評価を行った。交差点における見通しは、従来行われてきた信号なし交差点における道路設計の概念と、AASHTO⁵⁾における交差点見通しの評価手法を参考に、従道路を走行する車両と幹線道路沿いを走行する自転車との関係に置き換えて計測した(図2)。見通し評価を定量化し交差点の違いを比較できるように、設計上の自転車と自動車の通行状態を以下のように定義した。

- ・自転車の通行位置は、歩道なし(路側帯)の場合は道路境界から0.5m、歩道ありの場合は歩道端幹線道路側0.5m地点とした
- ・停止線設置位置と一般乗用車の車頭平均から、運転手の視点位置は歩道境界5.4m地点に設置した
- ・自転車設計速度は15km/hとした
- ・米国AASHTO Green Book⁶⁾の基準に基づき、自動車最小交差点侵入時間を6.5秒とした

本研究では、設定した様々な見通し指標がある中で、民地敷地境界によって車両ドライバー視点Aが実際に見通すことのできる範囲をもとに求めたOS'を見通し指標とし、左右別に算出した。上限値として道路の設計基準に基づき、自転車の設計速度と自動車の最小交差点進入時間から与えることにした。この上限値を3段階に分け、9m未満を見通し悪、9～18mを見通し中、18m以上を見通し良と定め、事故との関係を分析していく。

また左右で見通しがどの程度の差があるかを数値で示すために、右側と左側の見通し指標の比に対数をとったものを指標として用いることにした。

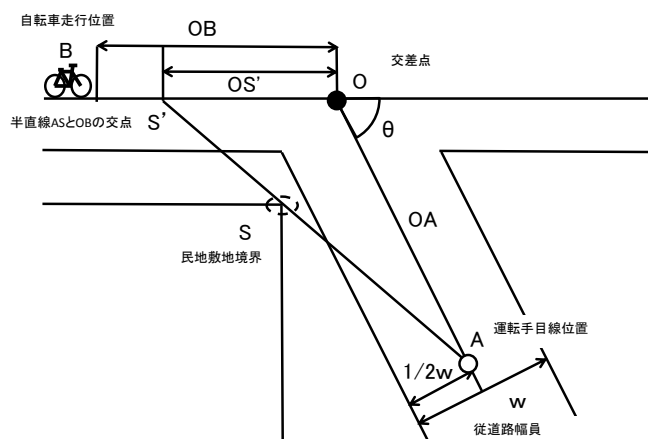


図2 見通し評価設定概念

表2 見通し評価指標

見通し評価項目	内容
見通し指標	OS'
log(右側/左側見通し指標)	右側の見通し/左側の見通しの比に対数を取った値

2.3 運転挙動の観測調査

(1) 調査概要

従道路から進入する自動車と幹線道路沿いを走行する自転車について、交差点進入時における運転挙動の観測を行った(図 3)。自動車の走行位置を調べるために歩道境界から従道路内に 0m から 10m までの区間に 1m 間隔で白色布テープを設置した。この区間を「流入部」とし、地点ごとの自動車運転手の安全確認の向きおよび自動車車頭位置をビデオで確認できるようにした。

次に民地境界から歩車道境界までの区間を歩道内とし、歩道内中央に白色布テープを設置し、自転車の走行位置の観測を行った。パターンとして車道、歩道車道寄り、歩道民地寄りの 3 つの走行位置に分類した。また、従道路から幹線道路へと進入する自動車台数、幹線道路沿いに走行する自転車の台数を走行方向別に観測した。

(2) 運転者の安全確認

従道路を走行する自動車が交差点に接近しているときの顔の向きを左・右・正面の 3 つのどれかを向いていると分類した。このとき自動車運転手が首を振って左右のどちらか一方に顔を向けた状態を安全確認 1 回とし、方向を区別して観測した。運転挙動に関する計測指標を表 3 に示すように設定した。

3 見通し評価と出会い頭事故の関係分析

3.1 見通し評価と出会い頭事故の基礎統計

左右の見通し指標と H16~22 年の 7 年間における年間平均 1 交差点辺り事故件数との統計分析結果について左右 3 段階に分けた 9 種類の組み合わせを表 4 に示す。左側から来る自転車との事故に対し、右側の見通し指標が 18m 以上かつ左側の見通し指標が 9m 未満で高い事故率を示した。また右側と左側の見通し指標の比と左側から来る自転車事故の関係について示す(図 4)。左右別に回帰直線を示すことで、左右での見通しの違いと事故との関係について示した。結果見通しが右側に比べ左側の見通しが悪くなるほど、事故の割合が高くなる傾向が確認された。

3.2 見通し評価と出会い頭事故のモデル分析

交差点における見通し条件が「車両×自転車」出会い頭事故にどの程度関連があるのか明らかにするために、本研究で分析対象とした 282 個の交差点を対象にモデル分析を行った。交通量に対して発生確率の小さな事故は、一般的にポアソン分布に従うと考えられ、式 3.2.1 に示すような乗数モデルを用いて表した。このとき両辺に対数を取り、モデル式の変化要因として説明変数を加えたものを式 3.2.2 に示す。

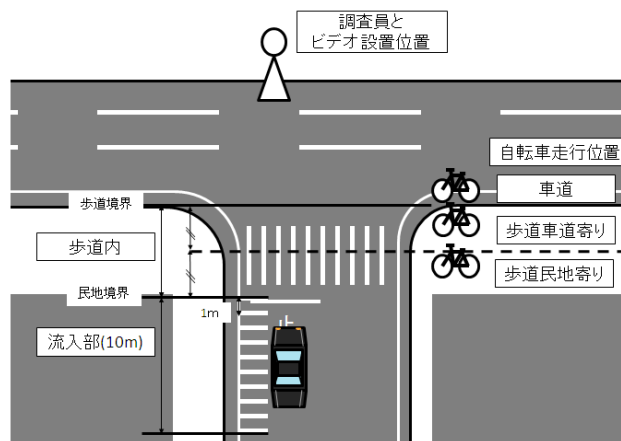


図 3 運転挙動調査概要

表 3 運転挙動分析のため計測指標

評価項目	内容
一時停止の有無	車両が歩道進入までにおける一時停止の有無
通過交通の有無	車両が民地境界到達時における幹線道路を走行する車両の有無
流入部進入時間	流入部入口に車頭が到達した時間
流入部退出時間	流入部出口に車頭が到達した時間
交差点接近速度	自動車の流入部進入から退出までの時間から換算した速度
安全確認構成比	交差点進入時までの安全確認の組み合わせ
流入部地点別安全確認方向	流入部 0~10m の 1m ごとの安全確認の有無
安全確認回数	安全確認を行った回数
一回あたりの安全確認時間	自動車の流入部進入から退出までの時間と速度の地点別安全確認方向から換算した安全確認一回あたりの平均時間

表 4 左右の見通し指標と左側事故

		左側見通し指標		
		悪	中	良
右側見通し指標	悪	0.061(21)	0.01(15)	0.177(25)
	中	0.048(12)	0.095(24)	0.016(35)
	良	0.314(20)	0.176(35)	0.092(95)

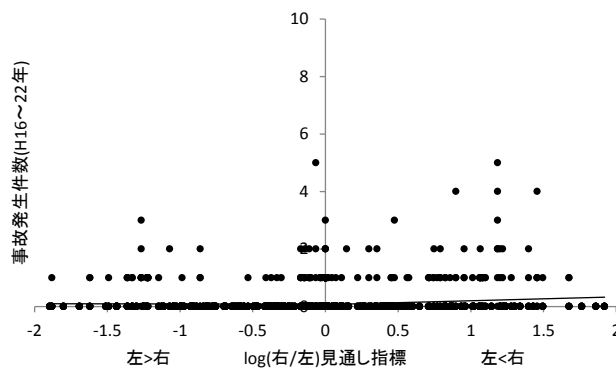


図 4 右側と左側の見通し指標の比と左側事故件数

$$Y_i = \alpha \times Q_i^\beta \dots (\text{式 3.2.1})$$

$$\log u_i = \log \alpha + \beta \log Q_i + \sum \beta X \dots (\text{式 3.2.2})$$

Y : 交差点の事故件数(H16~22 年分)、Q : 交通量
 i : 交差点番号(全 282 個)、u : 事故件数期待値、
 α : パラメータ、X : 事故の変化要因

次にモデル式の右辺に代入する説明変数の概要を述べる。まず交差点毎の流入交通量を計測したものは存在しないため、代替変数として道路交通センサスの幹線道路沿いを通行する 24 時間平均自動車交通量、12 時間平均自転車交通量で代用した。また交差点の規模を表す変数として従道路幅員を使って分析を行った。これら道路交通量、交差点の規模を示す変数を加えたモデル式に、事故の変化要因として見通し指標および右側と左側の見通し指標の比の値を説明変数としてモデル式に代入し、結果の比較を行った(表 5)。まず結果交通量の多く、また従道路幅員の規模が大きい交差点ほど事故が多くなることが確認された。次に事故の変化要因として加えた 2 つの変数を比較していく。AIC 値を用いてモデル式の精度を比較すると、左右見通し比によりわずかに精度の向上を確認できた。また係数が正であることから、左側の見通しが右側に比べて悪くなるほど事故の危険性が高まることが確認できた。

4. 運転挙動分析

4.1 運転挙動調査概要

運転挙動との関係を把握するため、本研究で定めた見通し指標に基づき、事故の割合が高くなる傾向にあった左側悪 : 右側良となる組み合わせに加え、左側良 : 右側良、左側中 : 右側良、左側悪 : 右側悪の 4 種類見通しを組み合わせた計 10 個の交差点を調査対象とした(表 6)。

ビデオ映像から目視により運転挙動指標の観測を行ったが、日照条件により車内を観測できない場合が存在したため、分析サンプル数が少なくなっている。

表 6 調査交差点概要

no	見通し評価		従道路交通量	自転車交通量		自動車運転挙動取得数
	左側	右側		順走	逆走	
①	良	良	140	426	257	59
②			64	401	258	35
③	中	良	22	160	89	14
④			73	30	36	52
⑤	悪	良	116	258	281	49
⑥			81	608	451	29
⑦			343	199	65	107
⑧	悪	悪	44	216	178	4
⑨			49	169	84	24
⑩			4	40	29	3

4.2 調査結果の基礎分析

(1) 一旦停止状況

幹線道路における通過車両、自転車横断帯、歩行者横断帯と一時停止の有無の関係を図 5 に示す。まず条件を考慮しない全体の平均における一時停止の有無を見ると、ほぼ半数程度が一時停止を行っていないことがわかる。次に各条件別に見ていくと歩行者横断帯や自転車横断帯といった施設に関わらず、一時停止を行っている割合はほぼ半数程度である。幹線道路の通過交通の有無別で比較すると、幹線道路を通過する車両がある場合において有意差が確認された。

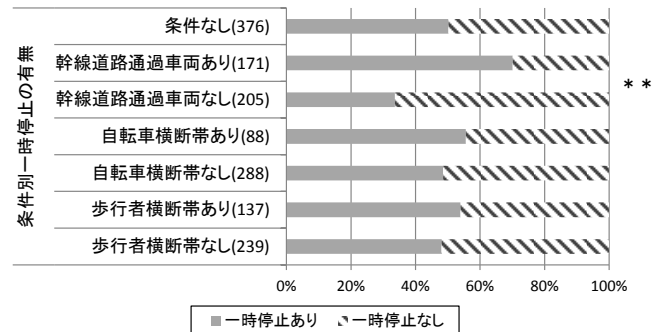


図 5 条件別一時停止の有無 (** は 1% 有意)

表 5 左側から来る自転車との出会い頭事故のモデル分析結果

	係数	t 値	係数	t 値	係数	t 値
定数	-11.689	-4.224 **	-11.294	-4.099 **	-11.033	-4.063 **
自動車交通量	0.566	2.833 **	0.564	2.836 **	0.504	2.557 *
自転車交通量	0.657	4.967 **	0.644	4.886 **	0.643	4.892 **
従道路幅員	0.166	3.292 **	0.192	3.744 **	0.169	3.389 **
左側見通し指標			-0.023	-2.653 **		
右/左見通し指標の比					0.557	5.256 **
log likelihood	-348.779		-345.261		-334.982	
AIC	3.068		3.046		2.956	

(2) 安全確認行動

安全確認構成率、一回あたりの安全確認時間、安全確認回数を示す(図 6、図 7、図 8)。安全確認構成率を見ていくと、右側から安全確認を行う割合が全体で6割を超えている。安全確認回数では、全ての交差点において左側に比べ右側の安全確認回数が多く、全体としてみると約1回程度の差があった。一回あたりの安全確認時間に着目するとno2、no10を除き、左側に比べ右側の安全確認時間が長く、全体で見ると一回あたりの安全確認時間が右側で約0.6秒であったのに対し、左側は約半分程度であった。以上から従道路から幹線道路へと進入する自動車は右方向に注意が傾く傾向にあることが分かる。

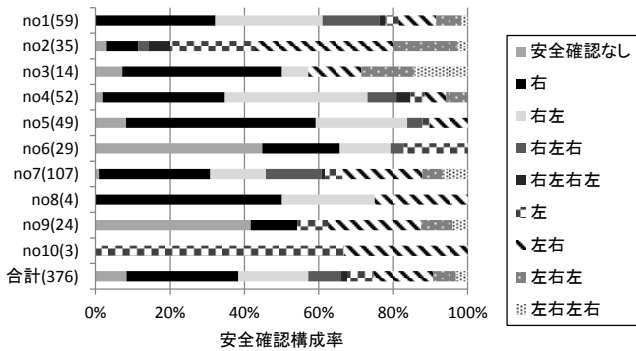


図 6 安全確認構成率

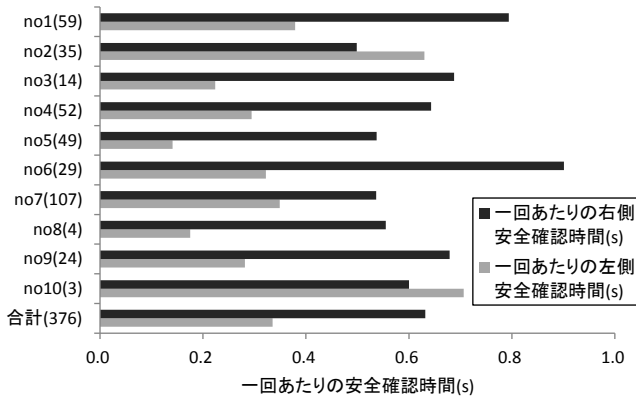


図 7 一回あたりの安全確認時間

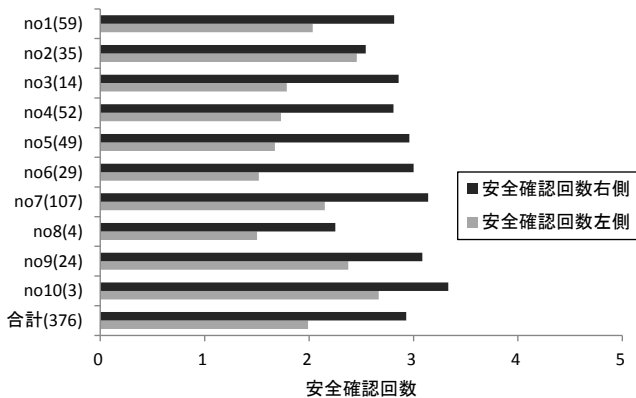


図 8 安全確認回数

(3) 見通しと安全確認の関係

交差点見通しと速度の関係を示す(図 9)。両側の見通しが悪い交差点において最も交差点接近速度が遅くなった。一方で両側の見通しが良い交差点や両側の見通しが悪い交差点よりも右側>左側となる交差点において交差点の接近速度が速くなることを確認された。

次に交差点見通しと最初に安全確認を行った位置の関係を示す(図 10、図 11)。右側、左側両方を見通しが悪くなると、安全確認位置が交差点に近づく傾向が得られた。特に左側の見通しが悪くなると最初に右側安全確認を行った位置が交差点に近づく傾向が得られている。しかし左悪右悪と左悪右良を比較するとそれほど差がないことが確認された。

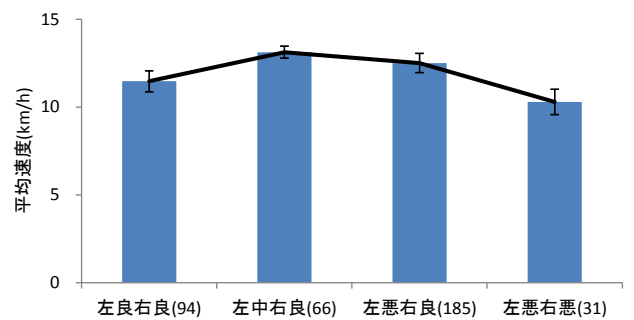


図 9 見通しと交差点接近速度

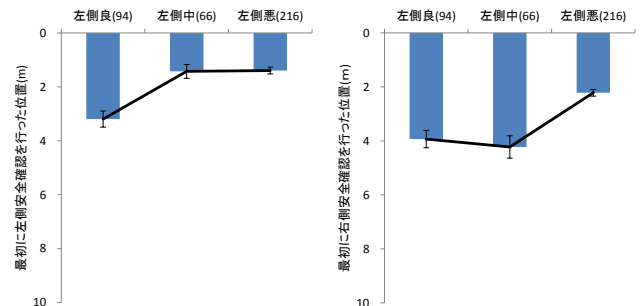


図 10 左側見通しと最初に安全確認を行った位置

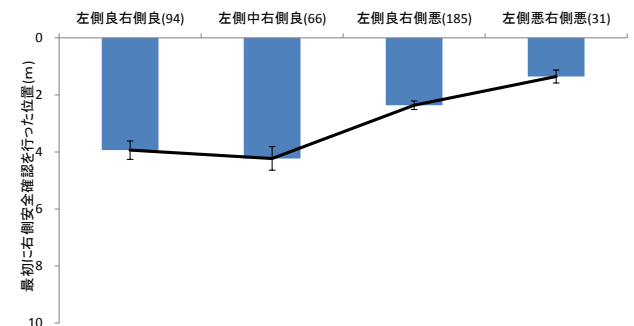


図 11 見通しと右側安全確認を行った位置

4.3 見通し指標に関するモデル分析

最初に安全確認を行った位置に対する影響要因を把握するため、交差点見通し、一回あたりの安全確認時間を説明変数として重回帰分析を行った(表 7)。最初に右側安全確認を行った位置に着目すると右側の見通しが良くなると最初に右側安全確認を行った位置が交差点から遠くなる傾向が得られた。一方左側見通しが悪い部分に着目すると係数が負であり、このことから左側見通しが悪いほど最初に右側安全確認を行った位置が交差点に近づく傾向にあることが確認された。

次に最初に左側安全確認を行った位置に着目すると左側見通しが悪い部分に着目すると係数が負であることが確認された。このことから左側見通しが悪いほど最初に右側安全確認を行った位置が交差点に近づく傾向にあることが分かる。また一回あたりの右側安全確認時間に着目すると、係数が負であることから、一回あたりの安全確認時間が短いと早い段階で左側の安全確認を行う傾向にあることが分かる。

見通しが右側>左側となる交差点において事故の割合が高くなった要因を考察すると、このような交差点では両側の見通しが悪い交差点に比べ、交差点の接近速度が上昇する一方、左側の安全確認位置は交差点に近づく傾向にあり、このような運転挙動が左側から来る自転車との出会い頭事故の危険性を高めていると考えられる。

表 7 重回帰分析結果

従属変数: 最初に右側安全確認を行った位置		
調整済み R2 乗	0.115	
観測数	376	
説明変数	係数	t 値
定数項	1.314	2.241 *
右側見通し(良→1、悪→0)	1.145	2.503 *
左側見通し(良→1)		
左側見通し(中→1)	0.328	0.854
左側見通し(悪→1)	-1.401	-4.575 **
一回あたりの右側安全確認時間(s)	2.285	8.458 **
一回あたりの左側安全確認時間(s)	-0.183	-0.532
従属変数: 最初に左側安全確認を行った位置		
調整済み R2 乗	0.412	
観測数	376	
説明変数	係数	t 値
定数項	1.498	3.216 **
右側見通し(良→1、悪→0)	0.274	0.755
左側見通し(良→1)		
左側見通し(中→1)	-1.069	-3.506 **
左側見通し(悪→1)	-1.133	-4.659 **
一回あたりの右側安全確認時間(s)	-0.471	-2.197 *
一回あたりの左側安全確認時間(s)	3.685	13.499 **

5. まとめと今後の課題

本研究では交差点の見通しに関わる構成要素と運転挙動の相互関係から、自転車事故多発の要因について考察を行った。

見通しと出会い頭事故の関係分析を行った結果、右側に比べ左側の見通しが悪いと、従道路に対し左側から交差点へと侵入してくる自転車との出会い頭事故の危険性が高まることが確認された。

このような交差点における運転挙動との相互関係を把握するため、交差点進入時における観測を行った。従道路から幹線道路へと進入する自動車は右側に注意が向くが確認された。その中で左側の見通しが悪い交差点において右側の見通しとは関係なく、最初に右側安全確認を行った位置が交差点に近づく傾向が得られた。安全確認を右側から行う割合が高いことから、相対的に左側の安全確認の遅れにつながると考えられる。一方で見通しが右側>左側となる交差点は両側の見通しが悪い交差点に比べ、交差点接近速度が速くなる傾向にあることが確認されている。このように右側に比べ左側の見通しが悪い交差点における左側安全確認位置の遅れと交差点接近速度の上昇といった挙動が、左側から来る自転車との出会い頭事故の危険性を高めている要因の一端として考えられる。

今回示した運転挙動は流入部における自動車の運転挙動に着目している。そのため歩道内における運転挙動との関係が明らかになっていない。車両×自転車の出会い頭事故を減らすには、歩道内における運転挙動を考慮し、従道路から交差点進入まで一連について事故要因を考察していく必要がある。

参考文献

- 1) 亀井省吾, 吉田長裕, 日野泰雄: 事故の深刻度を考慮した幹線道路における自転車事故のリスク分析, 土木計画学研究・講演集, No. 40, 4pp (CD-ROM), 2009
- 2) 武田圭介, 金子正洋, 松本幸司: 自転車事故発生状況の分析と事故防止のための交差点設計方法の検討, 土木計画学講演集, No38, 2008
- 3) Heikki Summala et al: Bicycle Accidents and Drivers Visual Search at Left and Right Turns: Accident Analysis. And Prevension, 2010.11
- 4) 王茹剛, 山中英生, 三谷哲: 雄幹線道路小交差点における見通しと自転車事故、車両挙動の分析, 第 32 回交通工学研究発表会, CD-ROM
- 5) AASHTO Green Book, 2001

◆討議[鍋島美奈子 准教授]

交差点見通し(左右の見通し指標の比)と事故の関係に対して、運転挙動分析で得られた結果は反映されているのか？直接的には関係ない？

◆回答

表5に運転挙動と左右の見通し指標の比との端回帰分析の結果を示す。交差点見通しが「右>左」の極端な場合、一回あたりの安全確認時間は短く、安全確認を行う位置が交差点に近づく傾向が確認できた。一方で接近速度は上昇する傾向にあることが確認でき、交差点における運転挙動の特徴が、左側から交差点に近づく自転車との出会い頭事故が多発した要因の一端として考えられる。

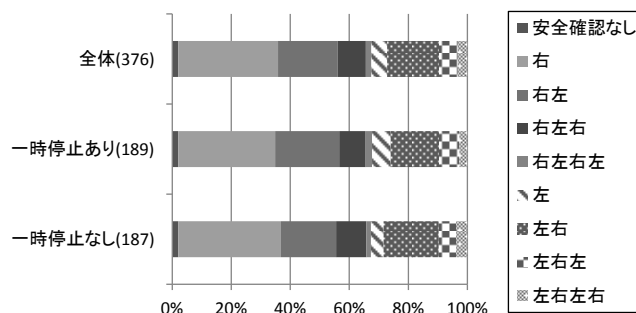
ただし本研究においては左側良：右側良、左側中：右側良、左側悪：右側悪の4種類見通しを組み合わせた計10個の交差点を調査対象としているため、見通しが右<左である交差点については議論できない。

表 1 運転挙動と回帰分析

		係数	t 値	調整済み R2 乗
一回あたりの右側安全確認時間	定数項	0.724	17.675 **	0.017
	(右/左見通し指標)	-0.189	-2.723 **	
一回あたりの左側安全確認時間	定数項	0.407	12.393 **	0.016
	(右/左見通し指標)	-0.149	-2.664 **	
右側安全確認を行った位置	定数項	3.812	15.659 **	0.039
	(右/左見通し指標)	-1.674	-4.050 **	
左側安全確認を行った位置	定数項	2.481	11.431 **	0.030
	(右/左見通し指標)	-1.305	-3.541 **	
右側安全確認回数	定数項	2.764	21.743 **	0.004
	(右/左見通し指標)	0.345	1.596	
左側安全確認回数	定数項	2.109	16.394 **	0.001
	(右/左見通し指標)	-0.248	-1.134	
接近速度	定数項	11.177	23.577 **	0.014
	(右/左見通し指標)	2.050	2.547 *	

◆討議[日野泰雄 教授]

一時停止と安全確認行動の二つの関係は？
一時停止と安全確認行動の2つについて、図に示す安全確認の構成率をはじめ、安全確認の行い方に大きな変化は見られなかった。



◆回答

◆討議[佐久間康富 講師・倉方俊輔 准教授]

事故対策にどう反映するのか？

◆回答

今回の研究では交差点見通しが「右>左」の極端な場合において事故が多発するという傾向にあることがわかった。一方で表5に示すように、このような交差点において一回あたりの安全確認時間は短く、安全確認を行う位置が交差点に近づき、接近速度は上昇する傾向にあることが確認できた。これらを改善する方法としては、極端に右側の見通しが良い交差点に対し、あえて右側の見通しを悪くする方法が考えられる。右側の見通しを悪くすることで、速度抑制の効果が期待される。

◆討議[内田敬 教授]

no2が安全確認の行い方が全体と反対になっているのは何が異なるのか？

◆回答

no2の交差点の道路の接続角度を見ると、時計回りに大きくなるように接続していた。そのため、幹線道路の流れに沿って顔の向きを左側に向ける傾向にあった。本研究では顔の向きで安全確認の是非を決定しているため、このことから安全確認の行い方が全体と異なっていた。通常このような形で交差点に接続することは好ましくなく、実際車両×自転車の出会い頭事故に対して、事故率が上昇する傾向が得られている。