

信号交差点の構造と横断歩行者に応じた 左折車両挙動の分析

張 馨¹・中村 英樹²・渡部 数樹³

¹正会員 名古屋大学大学院技術補佐員 工学研究科 社会基盤工学専攻
(〒464-8603 名古屋市千種区不老町C1-2 (651))
E-mail:zhang@genv.nagoya-u.ac.jp

²フェロー会員 名古屋大学大学院教授 環境学研究科 都市環境学専攻 (同上)
E-mail:nakamura@genv.nagoya-u.ac.jp

³正会員 名古屋大学大学院研究員 工学研究科 社会基盤工学専攻 (同上)
E-mail:watanabe-kz@genv.nagoya-u.ac.jp

信号交差点における左折車両挙動特性を知ることは、交差点の設計や安全性の向上に極めて重要である。そのためには、交差点構造と横断歩行者の影響による左折車両挙動の変化を分析する必要がある。そこで本研究では、異なる幾何構造や走行状態における走行速度や軌跡について比較分析を行う。車両走行状態については特に並列走行に着目し、左折時の並列走行率を横断歩行者交通量や流出側車線数などから説明するモデルを提案する。さらに、車両の並列走行状態による危険挙動について考察を行う。

Key Words : *left-turning vehicle maneuver, vehicle path, vehicle speed, overtaking*

1. はじめに

日本における平成25年中の交通事故発生状況によると、横断歩道における人対車両での重軽傷事故件数が全体の約3割を占めている¹⁾。そのため、横断歩道においては歩行者と車両の交錯に関する安全性が重要な研究テーマとなっている。また、大規模交差点では、右折車両は専用現示を与えられることが多く、他者との交錯機会が無い一方で、左折車両は横断歩行者との交錯可能性が高い。従って、信号交差点における左折車両挙動特性を知ることは、安全性の向上に極めて重要である。

既往研究として、Alhajyaseen et al.²⁾は横断歩行者と左折車両の交錯の危険性を分析し、左折車両の衝突回避挙動が横断歩行者に対するギャップ選択によって左右されることを明らかにした。シミュレーション上で自由走行状態における左折車両の軌跡や速度モデルを用いて、交差点通過時間差(PET)の分布を推定した。しかしながら、これらの研究では、自由走行の左折車両挙動に主眼を置いており、信号現示や他の車両からの影響は考慮していない。また路面標示設置マニュアル³⁾では左折導流線などにより車線運用が明確に定義されているにも関わらず、実挙動では、路面標示などを無視して先行車両を追い越

す車両が存在している。そのため、異なる幾何構造や走行状態における左折車両挙動の相違を評価し、交差点の車線利用や安全性への影響を分析する必要がある。

本研究では、異なる幾何構造や走行状態における走行速度や軌跡について比較分析を行う。車両走行状態については特に並列走行に着目し、左折時の並列走行率を横断歩行者交通量や流出側車線数などから説明するモデルを提案する。さらに、車両の並列走行状態による危険挙動について考察を行う。

2. 左折車両挙動の実態調査

(1) 左折車両挙動の分析方法

左折車両の流入側停止線から流出側横断歩道の手前までの領域を左折領域とする。左折車両が流入側停止線に到着する時、前方左折領域内に車両が存在しない場合は先頭車両とし、そうでない場合は、追従車両と定義する。さらに、信号待ちと車線変更等の影響を考慮し、左折車両挙動のタイプを下記のように4種類に分類する。Head leadingは信号待ちした先行車両の影響を受けない先頭車両であり、Leadingは信号表示中に到着した先行車両の影響を受けない先頭車両である。また、Followingは先行車

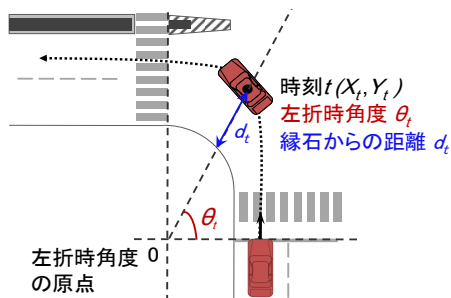


図-1 左折車両分析の定義

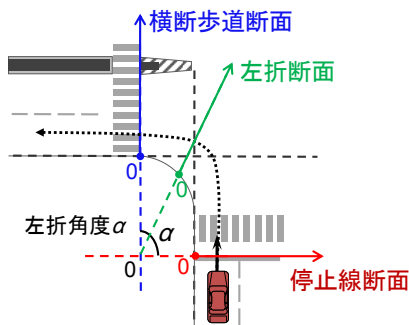


図-2 各断面の定義

両を追従している車両であり、Overtaking(または、並列走行車両)は先行車両が低速または一時停止状態の時に、先行車両を追い越す形で並列に走行する車両である。横断歩行者の影響範囲については、左折領域を通過する間に、横断歩道上に歩行者が存在する場合は影響を受けるものとし、そうでない場合は、横断歩行者の影響を受けないものと仮定する。

左折時における走行距離や所要時間は車両ごとに異なることから、軌跡や速度を連続的に評価するためには、距離や時間軸上での比較評価は困難である。そこで、走行時の挙動を連続的に表現するために、左折時角度と縁石からの距離を定義する。図-1に示すように流出側停止線の延長線と流出側横断歩道端の延長線の交点を左折時角度の原点とする。ある時刻における左折時角度 θ を、流出側停止線の延長線とその時の車両位置と左折時原点を結ぶ直線のなす角として定義する。また、左折時角度の原点と車両の重心位置を結ぶ直線上で、重心と縁石の間の距離を縁石からの距離と定義する。尚、この縁石からの距離は隅角部までの最短距離(接線に対する垂直線ではない)ではないことに注意されたい。評価断面として、停止線位置での断面を停止線断面、隅角部の等分位置と左折角度の原点を結ぶ断面を左折断面、流出側の横断歩道端での断面を横断歩道断面と定義する(図-2)。

また、左折車両の並列走行挙動を評価するため、1時間当たりの並列走行車両台数を全左折交通量で除して正規化を行った並列走行率にて分析を行う。以降、各流入部の並列走行率に対し、道路構造や交通運用がどのような影響を与えているのかについてマクロ的に分析を行う。

表-1 西大須交差点の概要およびサンプル数

交差点名	撮影時間帯	左折流入部	左折角度 [deg]	流出側車線 数	歩車分離 ダミー*	サンプル数
西大須	9:00-12:00	東	68	5	1	3
		西	75	5	1	3
末盛通 2	9:00-12:00	東	95	2	1	3
		西	66	2	1	3
		南	87	3	1	3
		北	108	3	1	3
今池	9:00-12:00	西	93	3	1	3
		南	98	3	1	3
		北	91	3	1	3
金山 新橋南	8:20-11:20	西	86	5	1	3
	9:00-12:00	北	93	1	1	3
植田 一本松	7:30-9:30	東	119	2	1	2
		北	65	2	1	2
山田 四丁目	7:00-10:00	東	65	3	1	3
		北	122	1	1	3
笹島	8:00-9:00	東	95	5	0	1
桜山	8:00-9:00	南	92	2	0	1
		北	85	2	0	1
旗屋町	7:00-8:00	東	125	3	0	1
		西	104	5	0	1
		南	53	2	0	1
		北	74	2	0	1
熱田 神宮南	7:00-8:00	東	60	4	0	1
		南	120	5	0	1

*歩車分離制御の場合は1, そうでない場合は0である。

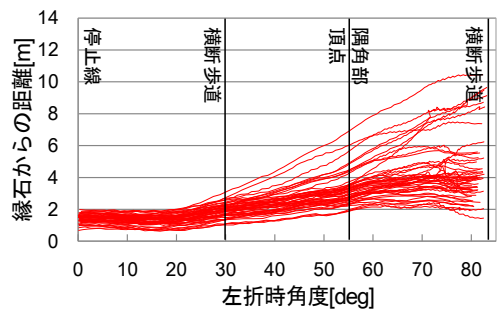
(2) 調査概要

左折車両挙動の分析には表-1 に示す道路構造と信号制御が異なる 10 箇所の信号交差点を対象とした。笹島、桜山と旗屋町では歩車分離制御の信号現示により時間的に横断歩行者と左折車両が分離されており、熱田神宮南では歩道橋により空間的に横断歩行者と左折車両が分離されている。その他の交差点では、横断歩行者と左折車両は同じ現示時間中に横断歩道を共用する。

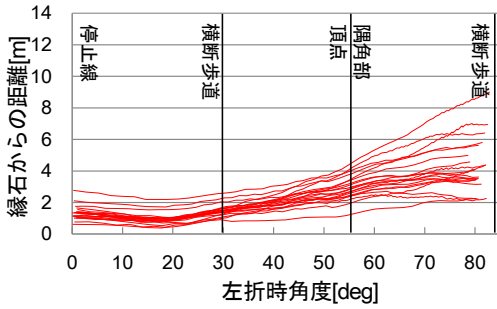
3. 先頭車両と追従車両の挙動の相違

(1) 走行軌跡の比較

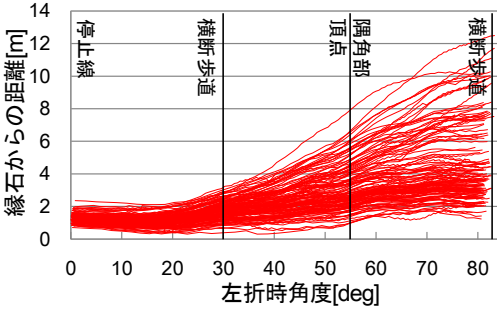
西大須交差点の西横断歩道において、横断歩行者の影響の有無ごとに、Head leading, Leading, Following と Overtaking の4種類の車両について走行軌跡を比較分析する。図-3は、横断歩行者の影響を受ける場合の左折時角度と縁石からの距離の関係を、種類別に示したものである。流出側の車線選択位置に違いはあるものの、走行軌跡は概ね類似していることが分かる。流出車線を選択する際に、流入側車線から徐々に流出車線に向かって走行するケースが多く、追従状態から途中で車線変更するケ



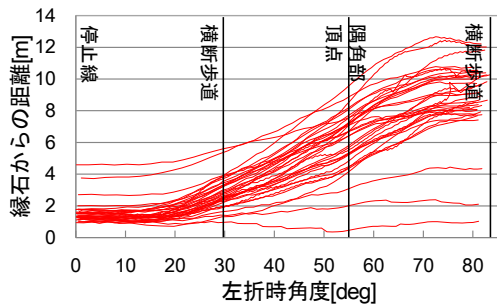
(a) Head leading (歩行者あり)



(b) Leading (歩行者あり)



(c) Following (歩行者あり)

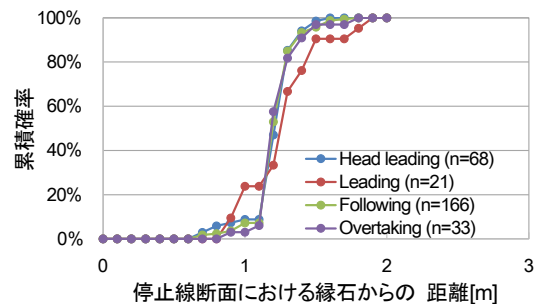


(d) Overtaking (歩行者あり)

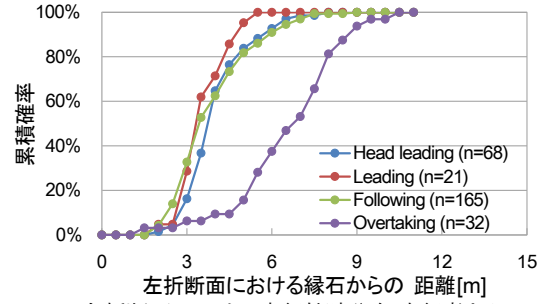
図-3 走行軌跡の比較

ースは少ないことがわかる。Overtakingの走行軌跡図(図-3(d))より、縁石からの距離が離れる車線、すなわち、外側(右側)車線が選択されるケースが多いことがわかる。

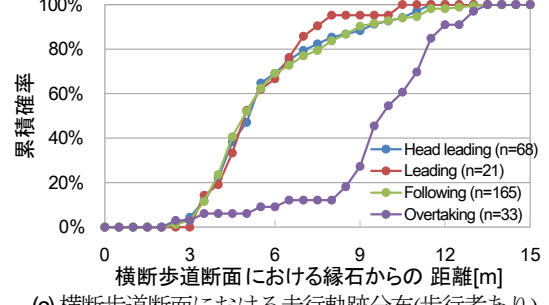
分析断面における走行位置の累積確率分布を図-4に示す。図-4(a)より停止線断面における走行位置の分布は4種類の車両で類似していることがわかる。しかしながら、交差点内の左折断面および横断歩道断面での分布を比較すると、Overtakingの走行軌跡分布のみ縁石から離れた位置にシフトしていることが分かる。左折断面におけるHead leading, LeadingおよびFollowingの走行軌跡は縁石からの距離=3~6[m]の歩道に近い側に集中しており、Overtakingはこれらの車両を追い越す場合に、縁石から



(a) 停止線断面における走行軌跡分布(歩行者あり)



(b) 左折断面における走行軌跡分布(歩行者あり)



(c) 横断歩道断面における走行軌跡分布(歩行者あり)

図-4 各断面における走行軌跡分布の比較

離れた車線を選択している結果と言える。さらに、この走行軌跡のばらつきは横断歩道断面において大きくなる傾向にあり、これには横断歩行者の影響や次の目的地に向けた車線選択といった要因が考えられる。

(2) 走行速度の比較

走行軌跡の比較と同様に、西大須交差点の西横断歩道において、走行速度についても比較を行う。図-5は、横断歩行者の影響を受ける場合の左折時角度と速度の関係を種類別に示したものである。先頭車両であるHead leadingとLeadingに関しては、横断歩行者の影響により、減速/停止位置が横断歩道の手前に集中している。一方、追従車両のFollowingとOvertakingに関しては、先行車両と横断歩行者の両方の影響を受け、減速/停止位置が交差点内ではばらついていることが分かる。また、Head leadingは信号待ちの停止時から発進した直後に横断歩道手前で一時停止するため、全体的に速度が低くばらつきが小さい。追従車両は先行車両の影響を受けて、走行速度が大きくばらついている。

分析断面における走行速度の累積確率分布を図-6に示

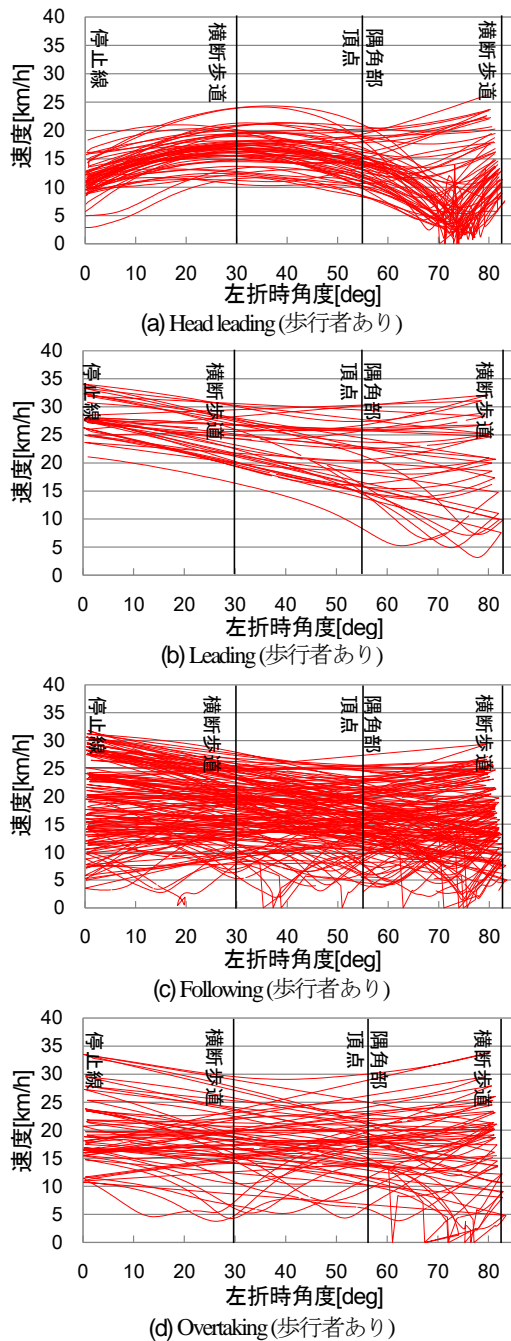


図-5 速度プロファイルの比較

す。停止線断面における速度について、Head leadingは信号待ちの影響による停止線手前で一旦ゼロになるため、停止線断面における速度が4種類の中で最も低い。Leading車両は、停止線断面における速度は他の3種類より高くなっており、30[km/h]付近に分布している。また、FollowingとOvertakingの停止線断面における速度は10~30[km/h]の間にばらついている。従って、停止線断面における4種類の車両走行速度には相違があるといえる。

しかし、左折断面における全車両の速度分布のばらつきが小さくなっている。横断歩道断面においても、全車両の速度分布はさらにばらつきが小さく、10~30[km/h]の間に位置している。以上より、種類別に分類した左折車両の走行速度は、交差点流入部での速度は異なるもの

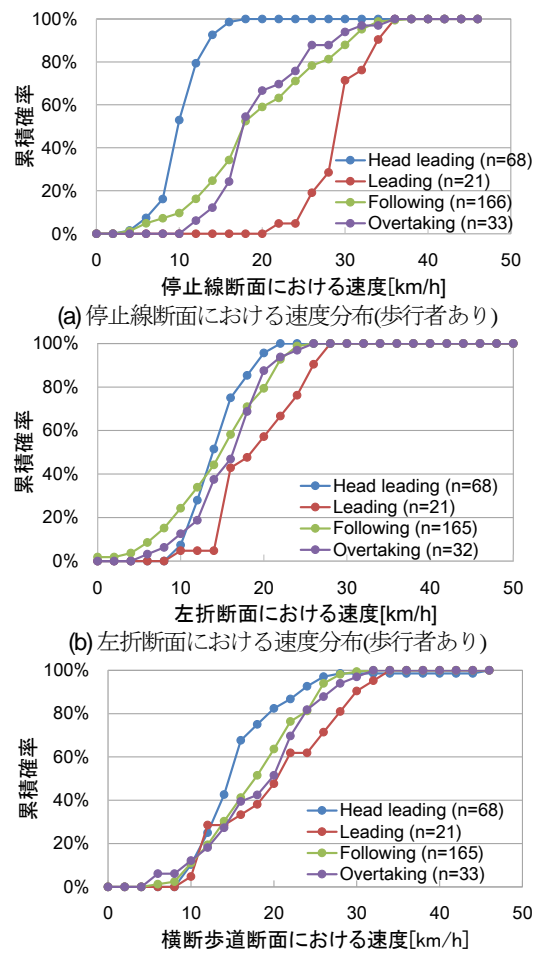


図-6 各断面における速度分布の比較

の、流出部での速度は類似する傾向にあるといえる。

また、LeadingとFollowingの横断歩行者の影響を受けない場合においても同様の速度分析を行ったが、結果は横断歩行者の影響を受ける場合の結果と同様であった。

以上の比較結果より、種類別に分類した左折車両の走行軌跡と速度は、概ね類似する傾向にあるものの、唯一、Overtaking車両の走行軌跡のみが他の車両と異なることが明らかになった。その他にも、軌跡のばらつきは交差点流出側で大きいことや、走行速度は流入部のばらつき大きい場合でも流出部位置では収束する傾向にあることが知見として得られた。

4. 並列走行率のモデル化

(1) 並列走行率と道路交通要因との相関分析

表-2 に並列走行率と道路構造や交通運用をパラメータとした場合の相関分析結果を示す。表-3 より、並列走行率には流出側車線数と歩行者交通量が強い相関をもつことがわかる。図-7 に示すように、流出側車線数が多い場合には空間的余裕があるため並列走行を行いやすく、歩行者交通量が多い場合には待ち時間が長くなるた

めに並列走行を行いやすくなることが想定される。

尚、分析においては、時空間的に横断歩行者と車両が分離された交差点(横断歩道橋がある場合や歩車分離信号制御の場合)や流出側車線数が1車線で並列走行ができない交差点は分析対象から除外した。

(2) 並列走行率のモデル化

前節の分析結果を踏まえ、歩車分離されていない、かつ、流出側車線が複数ある交差点に対して、流出側車線数と歩行者交通量といった影響要因から並列走行率を推定する重回帰モデルを構築した式(1)。表-3にモデル推定結果を示す。前節の分析結果と同様に、流出側車線数と歩行者交通量の係数が並列走行率に対して正となっており、流出側車線数が多く、歩行者交通量が多い場合には、並列走行率が高くなる傾向が示された。

$$P_{overtaking} = (a_1 \times X_{ped} + a_2 \times X_{lane} + a_3) \times X_{se} \times X_{sin} \quad (1)$$

$P_{overtaking}$: 並列走行率

a_1, a_2, a_3 : 係数

X_{ped} : 歩行者交通量(自転車を含む)

X_{lane} : 流出側車線数(2車線以上)

X_{se} : 歩車分離ダミー(分離:0;分離ではない:1)

X_{sin} : 流出側1車線ダミー(複数車線:1;1車線:0)

並列走行率モデル(表-3)の有用性を検証するため、並列走行率の予測を行い、実際の並列走行率と比較する。各流入部の流出側車線数と歩行者交通量に基づき、それぞれの流入部の並列走行率を予測した結果と、実際の並列走行率の比較を図-8に示す。サンプル数の制約はあるものの、概ね良好な結果が示されているといえる。

また、推定したモデルの感度結果を図-9に示す。分析結果から、流出側車線数が1車線増加すると並列走行率が3.43%増加し、歩行者交通量が100[人/h]増加すると、並列走行率も3.87%増加する結果となった。

5. 並列走行による危険挙動についての考察

前章の分析結果より、並列走行率は左折導流ゼブラダミーと相関がないことから、現状では左折車両の導流ゼブラ等の車線運用が曖昧になっていることが示唆される。特に、流出側車線数が複数存在する場合、導流ゼブラを踏んで並列走行する車両が多く観測された。このような挙動は左折時の危険性が高まり、事故につながりやすくなると考えられる。

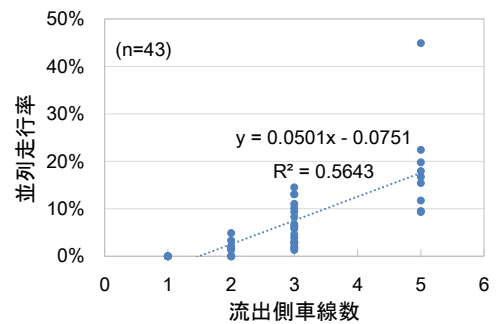
(公財)交通事故総合分析センター(ITARDA)の報告⁴⁾によると、左折時の事故は同方向からの二輪車や自転車巻き込み事故が多く、特に自転車の巻き込み事故は昼間の死亡事故の60%を超えており、重大事故につながり

表-2 並列走行率との相関

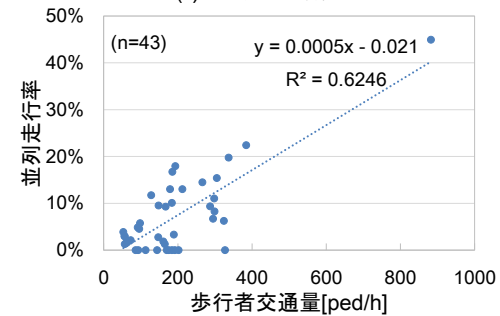
パラメータ	相関係数
左折角度[deg]	-3.28×10^{-2}
左折専用車線ダミー(1:左折専用, 0:直左混在)	4.35×10^{-2}
左折導流ゼブラダミー(1:ゼブラあり, 0:なし)	8.02×10^{-2}
流出側車線数	7.31×10^{-1}
停止線セットバック距離[m]	2.51×10^{-2}
対応横断歩道セットバック距離[m]	3.06×10^{-1}
歩行者交通量(自転車を含む)[ped/h]	8.57×10^{-1}
左折車交通量[台/h]	-1.90×10^{-1}

表-3 並列走行率予測モデルの推定結果

パラメータ	係数	t値
歩行者交通量	3.87×10^{-4}	10.26
流出側車線数(複数)	3.43×10^{-2}	6.73
定数項	-1.02×10^{-1}	-6.57
サンプル数	37	
重相関R	0.94	
重決定R ²	0.89	
補正R ²	0.88	



(a) 流出側車線数



(b) 歩行者交通量

図-7 並列走行率と流出側車線数・歩行者交通量との関係

やすいことが示されている。事故要因では左折車両の安全不確認が70~90%超と最も多いことがわかっている。

このような左折事故の現状をふまえて、左折車両の並列走行による危険性について考察する。図-10に示すように、左折車両が他の大型車両の右側から並列走行する場合、先行する大型車両は視覚的な障害物となり、同方向からの横断歩行者や自転車に対して相互に気づきにくくなる。また、図-11に示すように、左折車両が横断歩道の手前に複数停止している場合、各車両は車線運用に従っておらず、車両間が近接し左折車両相互の接触事

故が発生する可能性がある。図-12 に示すように、左折車両挙動は右折の青丸時のギャップ選択にも影響し、左折並列走行による右左折事故が発生する可能性がある。

従って、今後このような車両走行状態が複雑となる交差点での安全性対策としては、歩車分離信号や歩道橋等の時空間的に横断歩行者と自転車を分離することのほかに、左折導流島やポストコーンの設置等が有効であると考えられる。

6. おわりに

本稿の分析により、走行状態別に分類した左折車両の走行軌跡と速度の比較から、それらが概ね類似する傾向にあり、並列走行車両の軌跡のみが他の車両と異なることを明らかにした。そのほかにも、軌跡のばらつきは交差点流出側で大きいことや、走行速度は流入部でのばらつきが大きい場合でも流出部では収束する傾向にあることが知見として得られた。さらに、相関分析の結果から、並列走行率は流出側車線数、歩行者交通量と正の相関をもつことがわかり、これらのパラメータを用いた並列走行率予測モデルを構築した。また、並列走行は左折車両対横断歩行者や左折車両同士、右折車両のギャップ選択に影響し、事故につながりやすくなることを考察した。従って、今後このモデルを用いて、左折車両の並列走行が発生する確率を予測し、道路設計や安全対策に役立つことが期待される。本研究では、並列走行率に着目したマクロ的分析を実施したが、左折ドライバーがどのタイミングで意思決定を行い、車両走行状態が変化しているのかについても今後検討していく必要がある。また、これら車両走行状態の変化にはどのような道路構造や交通運用要因が影響するのかを分析することが、左折対横断歩行者の安全性評価に対して重要であると考えられる。

謝辞：本研究は国土交通省道路局・新道路技術会議による研究助成を受けている。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 警察庁交通局：平成 25 年中の交通事故発生状況，2014.
- 2) Alhajyaseen, W.K.M., Asano, M., and Nakamura, H.: Estimation of left-turning vehicle maneuvers for the assessment of pedestrian safety at intersections, IATSS Research, Vol.36, Issue 1, pp. 66-74, 2012.
- 3) 一般社団法人 交通工学研究会：路面標示 設置マニュアル，2012.
- 4) 公益財団法人 交通事故総合分析センター：信号交差点における事故発生状況と人的要因分析－四輪車から見た事故発生要因の分析－要約版，2012.

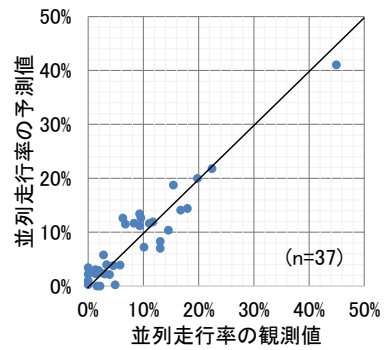


図-8 並列走行率モデルの検証

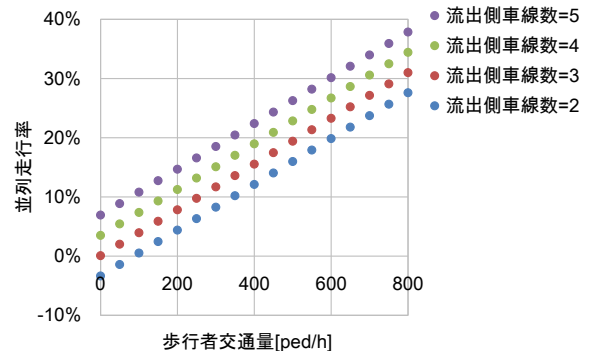


図-9 並列走行率モデルの感度分析

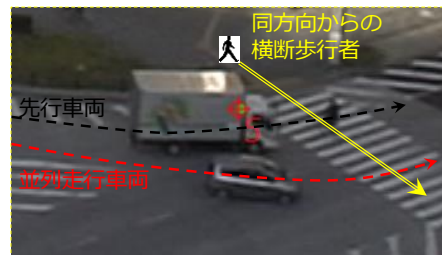


図-10 並列走行危険挙動の事例(左折車両対横断歩行者)

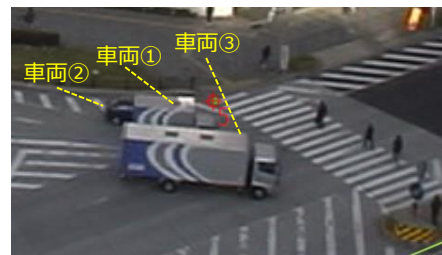


図-11 並列走行危険挙動の事例(左折車両相互)



図-12 並列走行危険挙動の事例(左折車両対右折車両)

(2014.04.25)