

ドライビング・シミュレータ分析による幹線道路小交差点での自転車走行位置・方向の評価

王 茹剛¹・山中 英生²・三谷 哲雄³

¹学生会員 徳島大学大学院 先端技術科学教育部 (〒770-0814 徳島市南常三島2-1)

E-mail: atm511517@yahoo.co.jp

²正会員 徳島大学ソシオテクノサイエンス研究部教授 (〒770-0814 徳島市南常三島2-1)

E-mail: yamanaka@ce.tokushima-u.ac.jp

³正会員 流通科学大学総合政策学部 教授 (〒651-2188 神戸市西区学園西町 3-1)

E-mail: Tetsuo_Mitani@red.umds.ac.jp

自転車関連交通事故の割合は増加しており。特に、自転車と自動車の出会い頭事故は自転車関連事故の5割を占めている、その中で、双方向での自歩道通行に起因する事故として、信号のない幹線道路小交差点における自転車と自動車の出会い頭事故が注目され、なかでも、車道の車両とは逆方向に走行している自転車の危険性が指摘されている。本研究では、幹線道路の小交差点において、細街路から幹線道路側に合流する自動車の挙動に着目し、ドライビングシミュレータを用いた仮想実験によって、見通しの異なる交差点で、自転車の走行方向・走行位置の安全性を評価した。ドライバーの注視挙動、及びTTC等の安全性指標を分析した。自動車は左側が見通しが悪くなると注視なくなり、歩道寄りを行く自転車、逆走する自転車は、他の位置・方向の自転車よりも危険性が高くなることが明らかになった。

Key Words : *bicycle accidents, small junction, behavior of driver, driving simulator*

1. はじめに

近年、自転車は環境に優しい交通機関としても、健康促進の観点からも、利用促進への関心が高まっている。一方で、交通事故の総件数が減少している中で、自転車関連の事故件数の減少は大きくなく、全事故件数に占める割合は増加しており、自転車の安全性向上も焦眉の課題となっている。

日本の自転車関連事故は、自動車の出会い頭事故が多数を占めている点の特徴とされており、交通事故分析センターの報告¹⁾によると、自転車事故の5割が出会い頭事故で占めるとしている。この出会い頭事故のうち、双方向の自転車の歩道走行を認めていることに起因する事故として、信号のない幹線道路小交差点での自転車事故が注目され、車道の車両と逆方向に走行する自転車の危険性が指摘されている。

一方、2012年11月に、「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」が国土交通省、警察庁によって発行されて、自転車ネットワークの計画的整備を進める方針のもとで、特に車道部での自転車レーンを中心に道路整備を進める方向が示されている。このように車両と同一

方向に車道部を走行させる自転車を基本とすることが事故件数の低減へとつながることも期待されている。

本研究では、以上の背景を踏まえて、幹線道路の小交差点における細街路から幹線道路側に合流する自動車の挙動に着目し、ドライビングシミュレータを用いた仮想実験を行い、見通しの異なる交差点で、自転車の走行方向（順走、逆走）・走行位置（歩道の民地寄り、自転車レーン）の安全性を比較評価する。

2. 幹線小交差点での自転車事故特性の既存研究

幹線道路小交差点において、車道上の車両と逆方向に走行する自転車の危険性について、近年、多くの研究が見られる。例えば、金子²⁾らは、東京都内の幹線道路の15.2 km区間の小交差点で2002年から2005年に発生した幹線道路走行自転車と細街路自動車との出会い頭事故を自転車の走行位置別に、自転車100万台当たりの事故発生率を比較し、左方向)から走行(右側通行)する自転車の事故率が高いことを示している(図2-1)。

小金ら³⁾も、福山市内の中心部を対象に、出会い頭事故の事故率を算出し、逆走する自転車の事故率が順走に

比べて高い傾向を示すことを明らかにしている。また、伊藤ら⁴⁾は細街路から自動車及び二輪車が交差点に流入する場合の交差点の出会い頭事故について、自転車が行きする車道の幅員が広がるほど、自転車が自動車の左側から走行してきた事故の割合が大きくなることを示している。さらに、草野ら⁵⁾は幹線道路・細街路交差点でのヒヤリハットの内容を分析し、高校生、高齢者とも、自動車に対して左から自転車が走行した場合が、右側より走行した場合より多く指摘されているとしている。

自動車の挙動について、清田ら⁶⁾は自動車が細街路から路側帯のある道路に進入する際のドライバーの安全確認に対する左右の見通しの影響を分析し、自転車の安全確認挙動は、左右見通しを組み合わせた全てケースで左側の安全確認が低くことを示し、右からくる自動車に気をとられているためとしている。また、Heikki Summlaら⁷⁾はフィンランドヘルシンキにおいて視界が遮られた二つの交差点でドライバーの安全確認挙動の分析を行い、右折（日本の左折）を行うドライバーは左を見続け、各交差点で右方向を見るドライバーの率は3%～7%しかないことを示して、ドライバーは車が接近してくる左方向の確認をするためと考察している。草野ら⁸⁾は兵庫県加古川市に歩道のある幹線道路小交差点157箇所を抽出し、14年間の事故データを用い、左右の見通しと事故の関係を分析した結果、左側の見通しが右側の見通しより悪い交差点では左側からの自転車との出会い頭事故件数やその事故率が高いことが分かった。さらに、157箇所から9か所を選出し、細街路から幹線道路に合流する自動車側の挙動を撮影した。分析の結果、左側の見通しが右側の見通しより良い交差点と比べて自動車ドライバーが手前で安全確認を終えている傾向があると指摘した。

以上のように、交差点における自転車事故の要因として、自転車の走行方向や位置、交差点の見通し状況の影響が考えられる。そこで、本研究ではこうした要素を組み合わせて、ドライビングシミュレータを用いて、仮想道路での交差点進入時の自動車ドライバーの挙動を観察し、比較分析することとした。

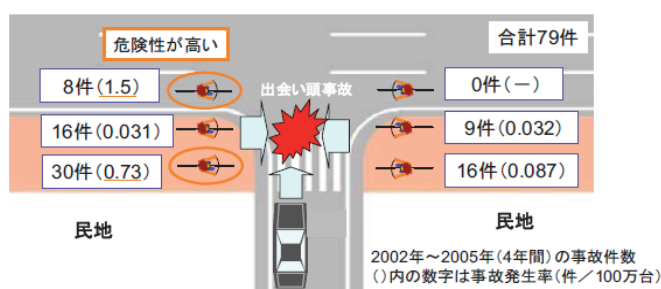


図-1 自転車の走行位置別の事故発生確率²⁾

3. 実験概要

実験では、図-2に示すように幹線道路小交差点の見通し、幹線道路を走行する自転車の走行位置を変化させ、交差点に進入し、幹線道路の車両と合流しようとする際の車両の速度と視認挙動を計測した。(図-3)

(1) 実験シナリオ

実験のパターンを表-1に示す。自転車の走行方向としては、車両と同一方向の順走、逆方向の逆走の2種類、自転車の走行位置としては歩道上（民地寄り）と車道部（自転車レーン）の2種類とし、交差点の見通しのケースとして左右両方とも悪い、左右両方とも良い、左が悪く右が良い、左が良く右が悪い場合の4種類としている。なお、見通しが良い場合の隅切りは3m、見通しが悪い場合は隅切りを0mとしている。

さらに、自動車が遭遇する幹線道路側を走行する自転車が一台と二台の場合を設定した。二台の場合は、危険と思われる、見通しが左右両方とも悪い、左が悪く右が良いタイプを対象として、危険な2台目は歩道を逆走する自転車が出てくる場合とした。ただし、1台目は自転

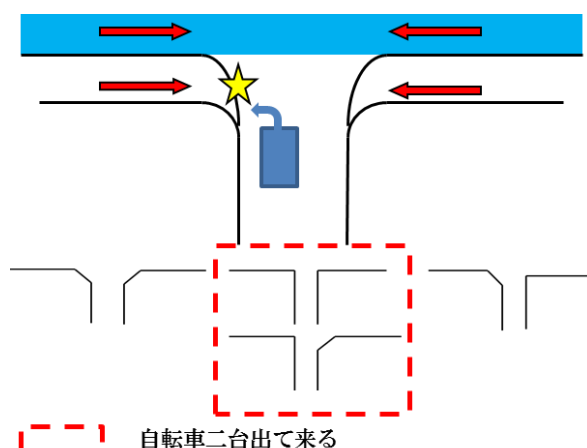


図-2 実験シナリオ



図-3 ドライバー視線方向の様子例

表-1 実験パターン

	自転車位置	自転車方向	見通し状況	出現台数
1	歩道	逆走	左×右×	1
2	歩道	順走	左×右×	1
3	レーン	逆走	左×右×	1
4	レーン	順走	左×右×	1
5	歩道	逆走	左○右○	1
6	歩道	順走	左○右○	1
7	レーン	逆走	左○右○	1
8	レーン	順走	左○右○	1
9	歩道	逆走	左×右○	1
10	歩道	順走	左×右○	1
11	レーン	逆走	左×右○	1
12	レーン	順走	左×右○	1
13	歩道	逆走	左○右×	1
14	歩道	順走	左○右×	1
15	レーン	逆走	左○右×	1
16	レーン	順走	左○右×	1
17	一台目歩道 二台目歩道	一台目順走 二台目逆走	左×右×	2
18	一台目レーン 二台目歩道	一台目順走 二台目逆走	左×右×	2
19	一台目歩道 二台目歩道	一台目順走 二台目逆走	左×右○	2
20	一台目レーン 二台目歩道	一台目順走 二台目逆走	左×右○	2

車レーンを順走する自転車、歩道を順走する自転車の2種類としている。これらを組み合わせて合計20パターンのケースで実験した。

実験では、自転車の速度を15km/hに設定し、減速及び進路変更はないとしている。ドライビングシミュレーターで操作される車両の速度は制限していない。交差点部では左折するよう被験者に指示した。

車が交差点に進入する際に、減速また一時停止をしないと自転車と衝突するタイミングで自転車を発生させ、2台の自転車が出現するケースでは、車両が減速また一時停止をしないと2台目の自転車と衝突するタイミングで自転車を発生させた。

4つの交差点タイプは全部延長350メートルの幹線道路に設置されており、4つの細街路をランダムに選んで出発点としてドライビングを開始させている。20回の試行で、4箇所は均等に出発点となり合計20パターンのケースをすべて体験するようになっている。

(2) 実験に用いた機材

自転車シミュレータはFORUM8社製の「UC-win Road Ver.7」のドライビングシミュレータ機能を用いて、自動車のハンドル操作、アクセル、ブレーキ作動をゲームコントローラー入力することで、高さ2400mm幅1200mmのパネルを5面組み合わせた画角170度のスクリーンに移動時の風景が映写されるものである。自転車が現れる場合は、自動車が一定の位置に達した時に交差道路の自転車が発生するシナリオを設定した。また、自転車および

自動車の走行情報として、刻々の座標、速度、ブレーキの有無を記録した。

また、自転車走行する被験者には、アイマークレコーダーを装着させた。自転車運転をコントロールするハンドルにはLogicool社製の「Driving Force GT」を使用した。

(3) 実験対象と実験の流れ

実験は表-2に示すように免許を持つ若年層5人、高齢者6人、計11人で行った。ただし、高齢者のうち4人はドライビングシミュレーターによる乗り物酔いを発生したため途中で実験を中止した。この4名は、半数のケースのみのデータ取得になっている。さらに、高齢者の一人が眼鏡かけないと画面を視認できなかったため、アイマークレコーダーの装着ができなかった。

実験の流れとして、まず、実験の目的を被験者に知らせずに、簡単な機材の説明、ハンドルとペダルの位置調整及びアイマークの装着を行う。そして、ハンドルの反応性に慣れるため、被験者が納得するまで、直進及び左折の調整を行った。調整終了後、2回の練習走行を行った（左右見通しが良い交差点でレーンに走行する自転車の2パターン）。その後、その後、本番の20パターンを体験させた。最後に、今回の実験内容及びヒヤリハットについてアンケート調査を行った。全過程で実験時間は約60分であった。

表-2 被験者の属性

	性別	年齢	職業	視力状況	近視など
1	女性	20代	大学生	コンタクト	あり
2	男性	20代	大学生	コンタクト	あり
3	男性	20代	大学生	コンタクト	あり
4	男性	20代	大学生	良好	なし
5	男性	20代	大学生	良好	なし
6	男性	60代	無職	良好	なし
7	男性	60代	無職	眼鏡	あり
8	男性	60代	無職	良好	なし
9	女性	60代	無職	良好	なし
10	女性	60代	無職	良好	なし
11	女性	70代	無職	眼鏡	あり

欠損のないアイマークデータ

欠損のない走行データ

4. ドライバー挙動の分析方法

(1) 視線挙動

アイマークレコーダーから1/30秒ごとの視線方向の記録が取得できる。アイマークデータの分析ソフト

「EMR-dFactory」を使い、図-4に示すように、被験者の注視物として左、中央、右、自転車一台目、自転車二台

目、回転灯の6つの項目を定義し、1/30秒毎の視線方向の注視物を入力することで、被験者がいつどこを見ているかを分かるようにした。

(2) 走行挙動

自動車の位置座標、速度、走行距離、ブレーキの有無、幹線道路から出てくる自転車の座標を取得できる。この自転車と自動車の位置と速度を用いて図-4に示すように、その時点の速度と走行方向を維持したとすると、何秒後に衝突するかどうかを判定することでTTC(Time to collision)指標を算出し、各ケースのTTC最小値を求めた。

(3) 評価項目

以上の走行データとアイマークデータを合わせ、表-3に示すように、最初確認方向、自転車確認前に左右の確認回数と時間、最初左右確認位置、自転車確認可能時の位置と距離、自転車確認可能時の速度およびTTCを評価項目とする。

各評価項目の比較にあたり、パターン毎の平均値を比較している。見通しによる指標の有意差について一元配置分散分析による検定した。走行位置、走行方向ごとの指標値の2群の平均値の差についてはT検定を用いた。

TTCの比較では、どの時点でも速度・方向を維持しても衝突を起こさないケースを除外し、TTCが算定できたケースの平均値を用いて比較し、グループ間の差はT検定を用いている。

5. 自転車挙動の比較分析結果

(1) 最初確認位置

図-5はドライバーの見通し毎の最初確認方向を示している。左右の見通しが悪い場合と左の見通し悪く右の見通しが良い場合には、最初に右側を確認する割合が8割強占めている。一方、左右の見通しが良い場合と、左の

見通しが良く右の見通しが悪い場合には、最初左側を確認する割合が右側より高い傾向が見られる。検定の結果でも5%の有意確率で有意差が見られた。

ドライバーは見やすい方向を最初に確認するという特性が見られる。

(2) 左右確認回数と時間

図-6、図-7は、自転車を確認するまでのドライバーの左右方向への確認回数と注視時間を示している。全体的に見ると、左の見通しが良い交差点より、左の見通しが悪い交差点の方が左右注視の回数が少なく、時間も短い。また、左の見通しが良い交差点より、左の見通しが悪い交差点の方の左注視割合が低い。さらに、若年者より、高齢者の方が左右の注視回数が少なく、時間も少ない、左方向注視の割合も低いということが分かった。

検定の結果では、自転車確認可能前の左注視回数と時間では見通しの違いによる有意差が見られたが、右注視の回数と時間については5%の有意確率では見通しの違いによる有意差は見られなかった。交差点の見通しの違いは、車両がくる方向と逆の左側への注視には影響を与えているが、車両が来る方向の右側への注視に影響を与えていないことが推察される。

表-3 評価に用いた指標

評価項目	内容
最初確認方向	ドライバーの最初の左右確認方向
左右確認回数	確認開始から自転車確認可能までの左右確認回数
左右確認時間	確認開始から自転車確認可能までの左右確認時間
最初左右確認位置	ドライバーの最初の左右確認時の交差点端までの距離
自転車確認可能時の位置	自転車確認可能時の交差点端までの距離
自転車確認可能時の距離	自転車確認可能時ドライバーと自転車の距離
自転車確認時の速度	自転車確認時車の速度
TTC	衝突余裕時間 (減速無時の衝突までの予測時間)

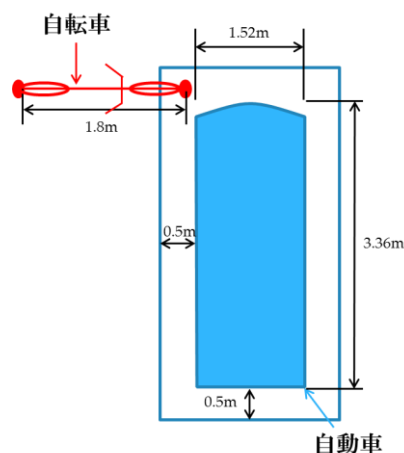


図-4 TTCの計算

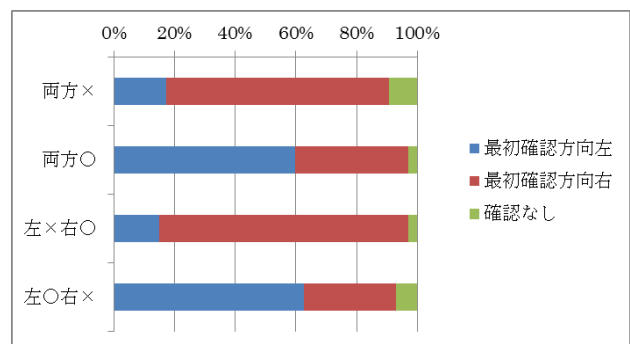


図-5 最初確認方向

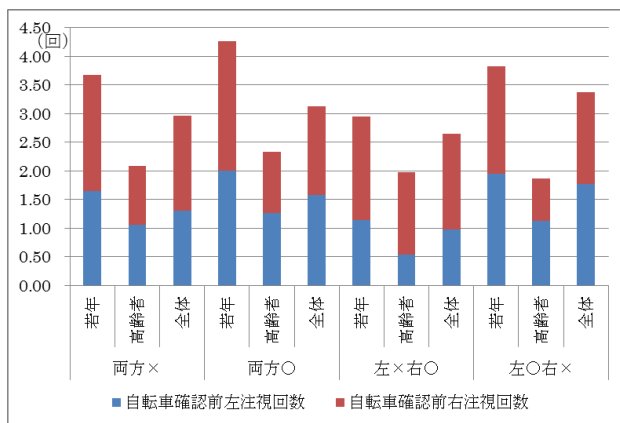


図-6 左右確認回数

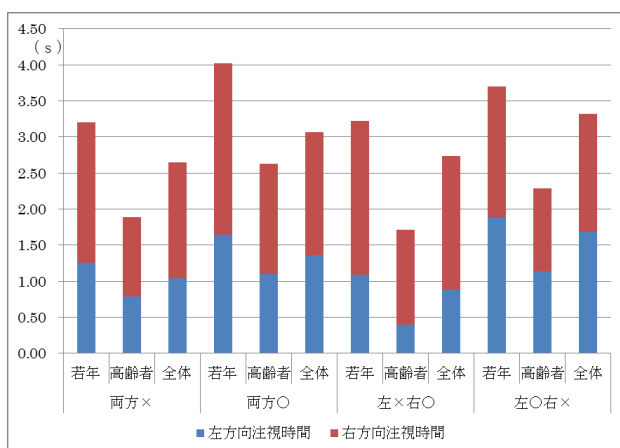


図-7 左右確認時間

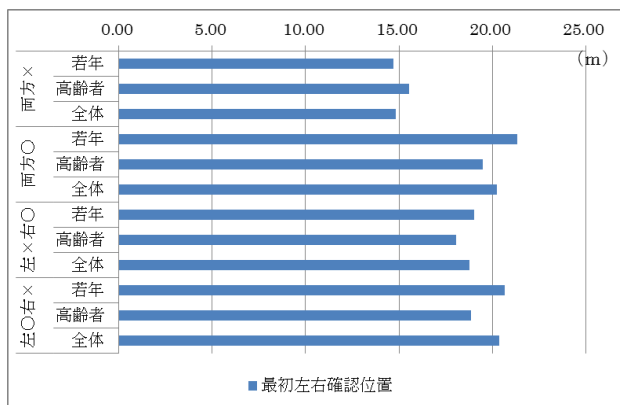


図-8 最初左右確認位置

(3) 最初左右確認位置

図-8に最初の確認位置の比較結果を示す。全体的に見ると、最初の確認位置が交差点に一番近くなるのは、左右の見通しが悪いパターンで、次に左側が悪く右側が良い場合である。ドライバーが見えないところを先に見ようとしないうという傾向が原因だと考えられる。見通しによる差は5%の有意確率で有意差が見られた。

(4) 自転車確認可能時の位置と速度

図-9に自転車が確認可能になった時の車両位置と速度

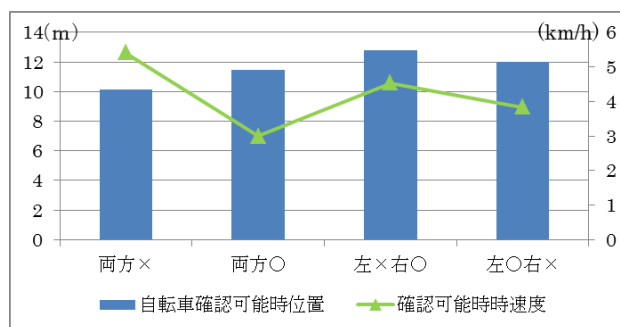


図-9 自転車確認可能時の位置と速度 (見通し別)

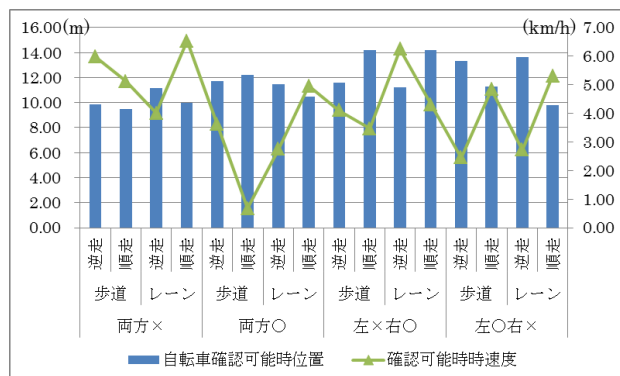


図-10 自転車確認可能時の位置と速度 (パターン別)

の比較結果を示す。全体的に見ると、左右の見通しが悪い交差点で、交差点に一番近く、その時の速度も一番速く、危険性が高くなっている。一方、左右の見通しが良好の交差点では、確認可能位置が交差点から離れていて、速度も一番遅い。左の見通しが悪く右良い交差点では、確認可能時の位置が一番離れているが、速度が速くなっている。検定によると自転車確認可能時の位置と速度両方が10%の有意確率で見通しによる有意差が見られた。

図-10の自転車の走行位置・方向のパターン別で見ると、見通しが左側悪く右側良い交差点と左側良く右側悪い交差点で、自転車の順走と逆走によって、自転車確認可能位置が大きく変化している。

自転車の走行方向による差の検定結果で、順走と逆走で有意差が見られ、見通しが良い方向から来る自転車を確認する可能な時の位置が、順走では逆走より交差点から離れている。

速度については、左右の見通しが良く自転車が歩道のケース（見通しが良すぎて、自転車待ちの現象が見られた）を除いて、他のすべてのケースでは、走行位置による有意差は見られない。自転車確認時の速度は、見通しの違いに影響されるが、自転車の位置と走行方向の影響は少ないと見られる。

(5) 確認可能時の自転車との距離

図-11に自転車確認可能時の自転車との距離と速度の関係を示す。図-12に示すように、自転車の走行位置、

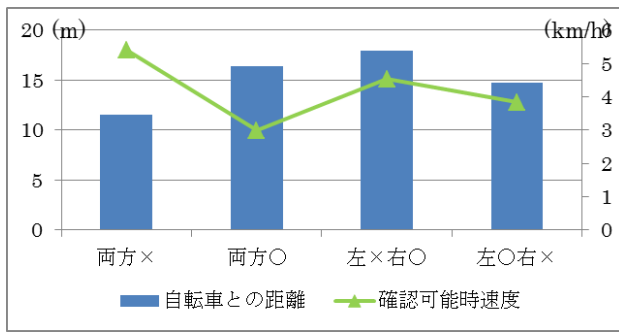


図-11 交差点タイプ別自転車確認可能時自転車との距離と速度の関係

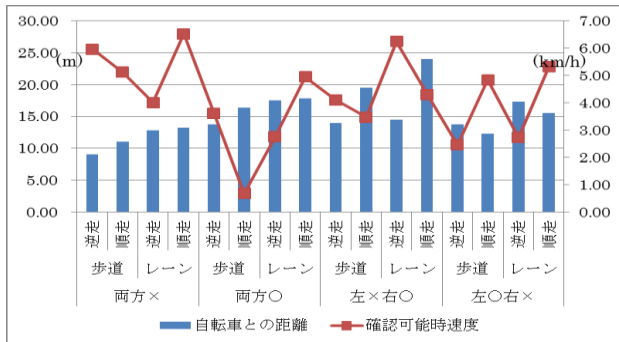


図-12 パターン別自転車確認可能時自転車との距離と速度の関係

方向のパターン別自転車確認可能時の自転車との距離と速度の関係を示す。

全体的には、自転車が歩道を走行する場合より、レーンを走行する場合の方が、ドライバーは自転車と距離を取れており、逆走より順走の自転車とも距離を取れている。また、左右とも見通しが悪い場合には、自転車確認可能時の自転車との距離が近く、速度も速くなっており、危険性が高くなっている。見通しの差については5%の有意確率で有意差が見られる。

見通しが左悪右良の交差点に関しては、自転車確認可能時のドライバーと自転車の距離が一番遠くなっているが、速度が速いことが指摘できる。自転車の走行方向・位置による差が大きくなっている。また、見通し良いところから来る自転車より、見通し悪いところから来る自転車との距離が近い、速度も速いことがわかる。

順走と逆走の自転車の方向による有意差が見られ(5%有意確率)、逆走の自転車との距離が近くなる傾向が見られる。さらに自転車逆走の場合、歩道とレーン走行の有意差も見られ(5%有意確率)レーンに走行する自転車との距離が遠くなる傾向が見られる。

さらに、左右両方見通しが悪い場合、逆走自転車の歩道走行とレーン走行間の有意差が見られた(5%有意確率)。両交差点タイプで、確認時自転車との距離について歩道逆走の場合が一番近く、歩道と逆走の危険性を示唆している。

(6) TTC

図-13に見通し別のTTC平均値を示す。左右の見通しが悪い交差点でのTTC値が一番小さく危険側になっている。ただし、見通しによる有意差は見られない。

図-14に自転車の走行位置と方向のパターン別TTCを示す。左の見通しが悪い交差点で、歩道逆走の自転車に対するTTC値が同じ交差点タイプ内で一番小さい、自転車の歩道で逆走する危険性を示唆している。

自転車走行方向と位置による差の検定では、左の見通しが悪い交差点で、歩道で逆走する自転車とのTTC値より、レーン走行自転車とのTTC値が大きく有意差が見られる。さらに、見通しが左悪く右良い交差点で、歩道を順走する自転車が歩道を逆走する自転車よりTTC値が大きく有意差も見られた。

(7) 自転車二台時の危険性について

図-15、図-16に自転車確認可能時位置、速度および自転車との距離を示す。見通しの違う2つのケースとも、一台目より二台目の確認可能時位置が交差点近くになり、自転車との距離も近くなっている。一台目の自転車が過ぎた後に、ドライバーは加速する傾向が見られ、この挙動が危険性を高める可能性があると考えられる。

検定結果で見ると、見通しが左右悪い交差点ではドライバーが自転車一台目を確認時と二台目確認時の速度に有意差が見られ、加速傾向が確認できる。

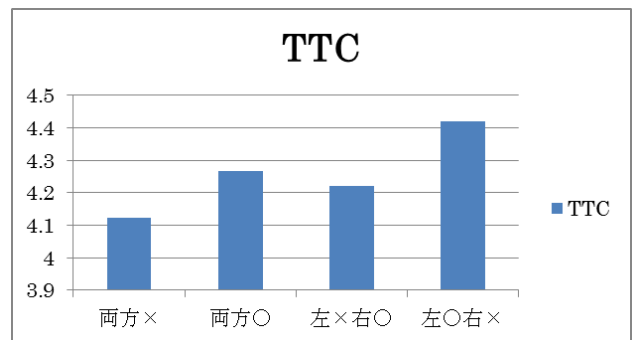


図-13 見通し別のTTC値の平均

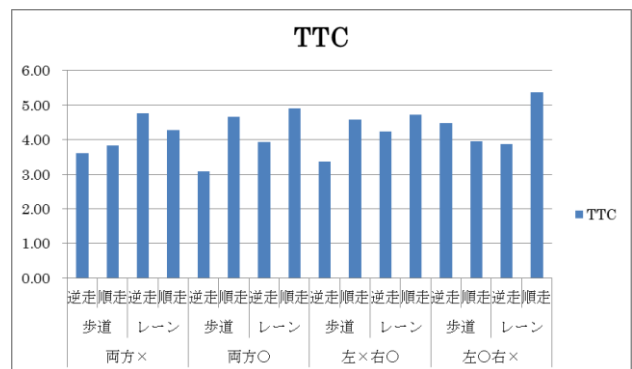


図-14 パターン別TTC

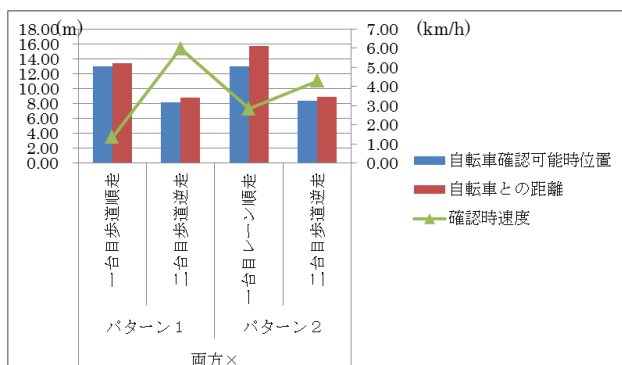


図-14 両方× 自転車確認可能時位置、速度と距離

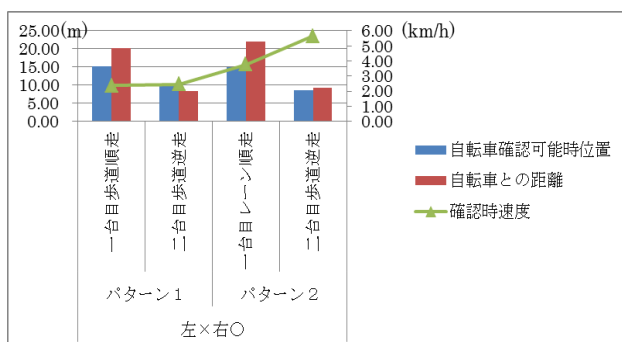


図-15 左×右○ 自転車確認可能時位置、速度と距離

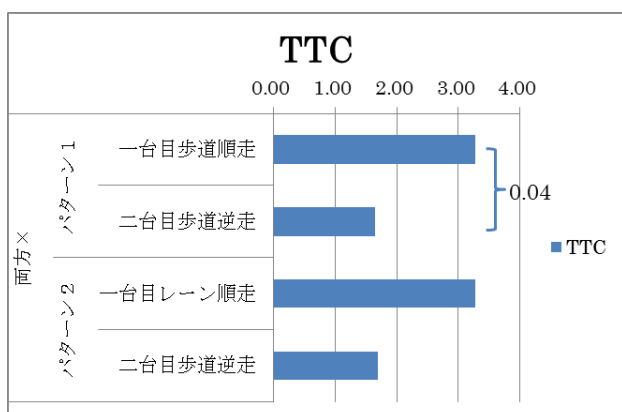


図-16 左右見通し悪い交差点でのTTC

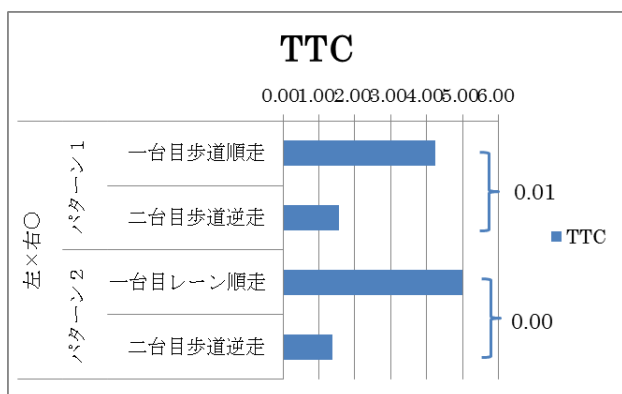


図-17 左悪く右良い交差点でのTTC

さらに、左見通しが悪く右良い交差点のケースでは、若年者がやや減速傾向が生じていたが、高齢者では明らかな加速傾向が見られた。TTCについては、図-16、図-17に示すように、全ケースで2台目の値が1台目の値の

1/2になっており、検定でも多くのケースで有意差が見られた。歩道逆走の二台目の自転車は危険性が明らかであると言える。

6. まとめ

本実験は自転車の走行位置、方向を組み合わせ、ドライビングシミュレータを用い、細街路から幹線道路に合流する自動車側の挙動を観察した。

実験の結果、まず、ドライバーは交差点に接近すると、最初に見えやすい方向を確認するという傾向がある。また、左右の見通しの違いがドライバーの左側の注視回数、注視の持続時間及び割合に影響を与えており、特に、左の見通しが悪くなったら、幹線道路に合流するため、左側を見ようとしにくい傾向が生じていた。しかし、右側への注視は見通しにかかわらず、ほぼ同じ回数と注視時間を維持していた。高齢者は左側の注視回数、時間、割合がすべて若年者に下回っていた。ドライバーの運転挙動に関しては、左の見通しが悪くなると、最初左右確認しようとする位置が交差点に近くなる。左の見通しが悪くなると自転車確認可能時の速度も速くなる。

見通しが悪くなると、ドライバーは幹線道路合流時に左側を見ようとしにくい傾向があるため、左側見通しが悪く、さらに歩道で逆走自転車が出てくる時に小さなTTC値が見られた。特に、順走の自転車が先に現れて、後に歩道を逆走で自転車が出現した場合が危険であった。

今後はサンプル数を増加させ詳細に分析を進めたい。

参考文献

- 1) 藤田健二：四輪車と自転車の無信号交差点・出会い頭事故の人的要因分析,第15回交通事故調査・分析研究発表会
- 2) 金子正洋, 松本幸司, 蓑島治：自転車事故発生状況の分析,土木技術資料,Vol.51,No.4,pp.10-13,2009
- 3) 小金知史, 小川雅博他：市街地における自転車関連事故分析,土木計画学講演集,No.41,2010
- 4) 伊藤克広, 本田薫, 大脇鉄也, 木村泰：交差点で発生する自転車関連交通事故の分析,土木計画学研究発表会・講演集,No.43,2011
- 5) 草野優太, 亀谷友紀, 山中英生：高齢者・高校生の自転車による交差点ヒヤリハットの比較分析,土木学会論文集, Vol.67,No.5, 1251~1257頁, 2011年
- 6) 清田勝, 斎藤健治, 渡辺義則：右側通行する自転車利用者の危険度評価,,土木計画学研究・講演集, No. 25,2002
- 7) Heikki Summala et al : Bicycle Accidents and Drivers Visual Search at Left and Right Turns : Accident. Analysis. And Prevenesion., Vol. 28, No. 2, pp. 147-153, 1996
- 8) 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