

ドライビングシミュレータを用いた 信号交差点での自転車通行方向の安全性評価

吉岡 宏晃¹・山中 英生²・永松 啓伍³

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

E-mail:c501531008@tokushima-u.ac.jp

²正会員 徳島大学社会産業理工学研究部 教授 (〒770-0814 徳島県徳島市南常三島2-1)

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

³非会員 徳島県 商工労働観光部 (〒770-8570 徳島市万代町1-1)

E-mail:jyasutaway@docomo.ne.jp

自転車事故は全事故の2割と高い割合を占めており、約7割が交差点で発生し、自動車と自転車が交差する出会い頭事故と右左折事故で8割を占める。既存資料によると、自動車の直進・左折時には左側からの自転車との事故割合が高いが、右折時には右側からの自転車との割合が高くなることが分かっている。その原因として、ドライバーにとって両方向から現れる自転車への注視が困難であることが考えられる。本研究では、信号交差点における自動車の右左折時において、自転車両側通行の危険性を明らかにすることを目的としている。ドライビングシミュレータを用いて右左折自動車と自転車との錯綜を再現した実験を行った結果、同方向で2台の主体が進入する場合が異方向で主体が進入する場合に比べて、TTC、危険感などで改善されるケースが見られた。ただし、左側通行の場合でも自転車レーンから横断帯へと進路を変更する自転車の通行は危険であることが明らかになった。

Key Words : *small junctions, bicycle and vehicle accidents, driving simulator, safety evaluation*

1. はじめに

我が国は世界的に見ても自転車利用率の高い都市を多く有しているが、交通安全面では、全事故の2割と高い割合を占め、人口当たり死者数でも先進国と比較して、安全とは言えないとされる¹⁾。我が国の自転車事故は、約70%が交差点で発生しており、一方向通行を基本としている諸外国での割合²⁾に比べて高い傾向にあり、交差の生じる場面での安全性の低さが際立っているのが特徴となっている。既存資料³⁾によると、自動車の直進・左折時には左側からの自転車との事故割合が高いが、右折時には右側からの自転車との割合が高くなることが分かっている。信号交差点での分析例⁴⁾では、助手席側から進行してくる自転車との衝突割合が高いという結果が示されている。自動車の進行方向により衝突する自転車の通行方向の偏りが見られる原因として、交差点部で両方向から進行してくる自転車に対して、ドライバーの注視がどちらかに偏ることや遅れることが原因と推察される。

自転車の専用道整備が進んでいるオランダでも、基本は一方向通行であり、部分的にある双方向通行の場合の処理には、ガイドライン⁵⁾で特別な注意が払われている。こうした海外の研究や実践を見ても、道路上での自転車

の無批判な双方向通行を認めることは問題と言える。

金沢市では細街路での左側通行を促進する自転車走行指導帯の整備とともに徹底した街頭指導によって、細街路での左側通行率の向上とともに、事故低減を実現している⁶⁾。幹線道路の枝道路から流入する車両と自転車の事故率を比較した研究⁷⁾では、右側通行する自転車の事故率が順走する自転車より高いことが示されている。また、東京の環状7号線での自転車の交通量当たり事故率の研究⁸⁾では、車道走行自転車は歩道走行自転車より交差点部の事故率が低いことが明らかになっている。

また信号交差点での自転車を考慮したレイアウトの安全性については、自動車の左折時の巻き込み事故に着目した研究が行われている。例えば、久保田ら⁹⁾は、教習場校内の道路で模擬実験を行い、交差点パターンについて左折自動車と直進自転車の錯綜時の安全性を比較している。ガイドライン¹⁰⁾で提案されている左折自動車と合流する方式では、交差点での左折自動車と自転車との錯綜を減少させうる可能性が高いことを示している。ただし、この方式は自転車の不安感が高く、普及には教育等が必要としている。マルチエージェントシミュレーションによる研究¹¹⁾、ドライビングシミュレータ実験を用いた研究¹²⁾でも同様の結果が示されている。しかし、信号

交差点での右左折時について、双方向から現れる自転車による錯綜現象については、明らかにはなっていない。

以上の背景を踏まえて、本研究では、信号交差点において自転車の両側通行の危険性を明らかにすることを目的とした。具体的には、ドライブシミュレータ（以下DS）を用いて、信号交差点で右/左折する自動車に対して、2台の自転車、または歩行者に続いて自転車を時間差を持って進入させて、出会い頭事故の発生状況を再現する。この際の自動車の挙動を計測し、ドライバーの危険感、接近距離、TTCから安全性を評価した。特に、自転車が左側通行、両側通行で進入する場合に着目した。

2. ドライビングシミュレータ実験の概要

1) 自転車・歩行者の出現パターン

DSによる実験は信号交差点を対象に、被験者が操作する自動車が右/左折する際に、2台の自転車または、歩行者に続いて自転車が横断道路を時間差をおいて出現させ、出会い頭事故が生じやすい状況を再現した。

具体的にはDSのシナリオ機能を用いて、ドライバーが1台目の自転車または歩行者を停止してやり過ごした後、再発進しようとした時点で2台目の自転車が登場するようにしている。

自転車・歩行者の通行パターンは車道混在（矢羽根）タイプの信号交差点での見られる一般的な挙動を想定している。すなわち、1台目の自転車は1.車道左側を直進、2.横断歩道を車両と同方向（左側通行）する。3.横断歩道を車両とは逆方向（右側通行）する。の3種類、さらに歩行者についても4.横断歩道を車両と同方向（左側通行）する。5.横断歩道を車両とは逆方向（右側通行）する。を加えた5パターンを設定した。次に2台目の自転車については1.車道左側を走行してくるが、停止している車両が遮るため、横断歩道側に迂回する（車道迂回挙動）、2.横断歩道を車両と同方向（左側通行）する。3.横断歩道を車両とは逆方向（右側通行）する。の3種類としている。これらを組合わせて、表-1、表-2に示す自転車の進入方向を15パターンとしている。

さらにこのパターンについて、自転車が両側通行する15パターン全部をワールドA、自転車が左側通行のみとなる8パターンをワールドB、自転車が車道左側通行している3パターンをワールドCと設定した。

2) DS実験

被験者は右折、左折について、それぞれA,B,Cのワールドの2つをランダムに選んで、それぞれのパターンを15回ランダムな順番に経験させた。すなわち、Aワールドでは、15パターン全てを1回ずつ経験するが、B,Cの

ワールドでは同じパターンが繰り返されることになる。

被験者には、練習走行をしてDSの運転に慣れさせた後、落ち着いて運転を心がけるよう指示した。若年者（大学生）15名、60歳以上の高齢者18名で実験を行ったが、左折実験は合計393ケース（高齢者112、若年者281）、右折実験は合計442ケース（高齢者122、若年者320）を観測した。なお、実験中にDS酔いが発生した場合には実験を中断しており、高齢者を中心にDS酔いが多く発生して、予定した2ワールドを完了できないサンプルが多く発生した。このためワールドによる安全性の比較については、現時点では行わないこととした。

2) 錯綜の評価指標

本研究では、1回の走行毎に自転車の出現のしかたに対して危険を感じたかを、5件法で回答させた。評価では危険4、大いに危険5の割合を用いている。さらに、DSから得られた自転車と自動車の走行軌跡から、両者の最接近時の距離を算出し、2台目自転車との距離が0.5m、1m以下となるケースの割合を比較した。

さらに、錯綜状況の危険性を評価するTTC指標を用いて評価を行った。錯綜指標にはいくつかの指標が提案されているが、本研究では指標値の意味が理解しやすいTTC指標の概念を採用することとした。ただし、両者の規制が交差しない場合に無限大となる欠点を補うため、軌跡の交差を占有空間の重なりで衝突を定義して、さらに自動車の占有空間にバッファ空間を加えることで、ニアミスを考慮できるようにした。

具体的には図-1に示すように、自動車の占有空間として前後左右25cmのバッファを設け、自転車は変形菱形として、両者の速度、進行方向が変更しないとして占有空間が重なるまでの予測時間をTTC値として測定した。また、自動車、自転車被験者ともに自動車が行進開始し左折して交差点を流出する位置まで、0.1秒毎にTTC値を算出し、その間の最小値を実験ケースのTTC値とした。全範囲で占有空間の重なりが予想されなかった場合はTTC値は無限大となる。評価では、2台目自転車がバッファゾーンに衝突した場合をニアミス、0.5秒以下を危険状態として、その発生比率で評価した。

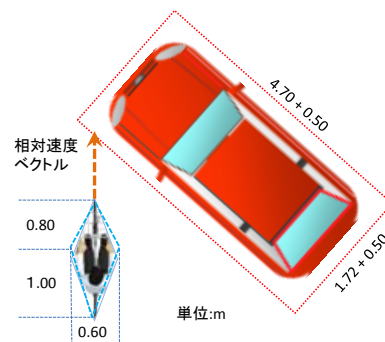


図-1 TTC算出のための占有空間の設定

表-1 自動車左折時の実験パターン

2台目		自転車		
		車道左端→ 横断歩道へ 車道迂回 挙動	横断歩道 左側通行	横断歩道 右側通行
1台目				
自転車	車道左端 左側通行			
	横断歩道 左側通行			
	横断歩道 右側通行			
歩行者	横断歩道 左側通行			
	横断歩道 右側通行			

表-2 自動車右折時の実験パターン

2台目		自転車		
		車道左端→ 横断歩道へ 車道迂回 挙動	横断歩道 左側通行	横断歩道 右側通行
1台目				
自転車	車道左端 左側通行			
	横断歩道 左側通行			
	横断歩道 右側通行			
歩行者	横断歩道 左側通行			
	横断歩道 右側通行			

3. 分析結果

自転車の左側通行と両側通行によるワールド間の比較、また実験パターン毎の比較は、実験できたサンプル数の偏り等から有意な結果を得られなかった。また、左側通行ではあるが2台目の自転車が車道迂回する場合は他のケースに比べて危険となることがわかった。

このため、1台目と2台目の出現する方向に着目して新たに比較のためのグループを設定しなおすこととした、まず、車道迂回挙動を含む場合は、1台目の出現方向が2台目と同方向(1-1, 2-1, 4-1), 異方向(3-1, 5-1)を比較することとし、その他の場合も異方向 (1-3, 2-3, 3-2, 4-3, 5-2), 同方向(1-2, 2-2, 4-2, 3-3, 5-3)に分類することとした。この分類を出現方法タイプとして、安全性の指標分布を比較することとした。

(1) 自動車左折時の比較分析結果

a) 危険感の評価 図-2は、各出現方向タイプでの危険感が4, 5であった割合を示している。車道迂回以外では、危険感5の割合でみると、異方向よりも同方向で危険感がやや低い傾向が見られる。ただし、危険感4まで加えると異方向の危険感が同方向より低い。車道迂回のタイプでは異方向の方が危険感が低くなっている。

b) 接近距離 図-3は、出現方向タイプ別に2台目自転車との接近距離が0.5m, 1m以下となった割合を表わしている。車道迂回以外のタイプでは、0.5m以下の危険状態は、同方向のほうが異方向よりも少ない。車道迂回タイプでは逆に同方向で危険状況が異方向よりも大きい傾向が見られる。

c) TTC値 図-4は、出現方向タイプと2台目自転車とのTTC値を示している。車道迂回ニアミスがほぼ全てのケースで発生しており、異方向、同方向の差異はない。他のタイプでは、同方向の方が異方向よりもニアミス発生率は低くなっている。

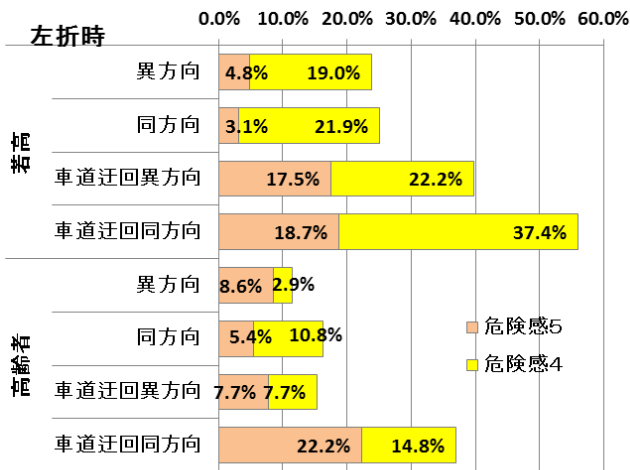


図2 自動車左折時 出現方向タイプ別の危険感

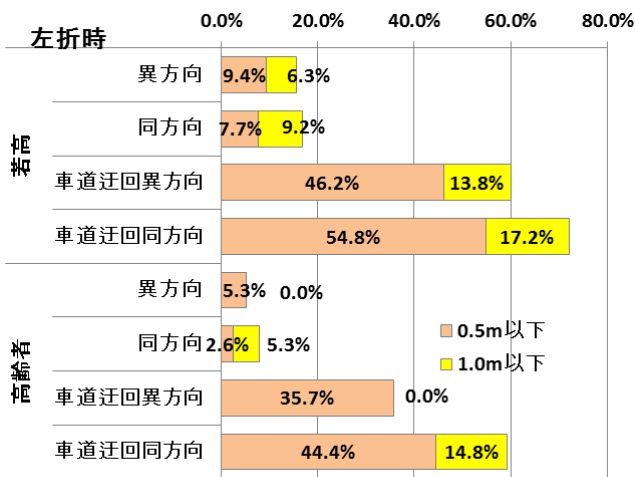


図3 自動車左折時 出現方向タイプ別の2台目自転車との接近距離

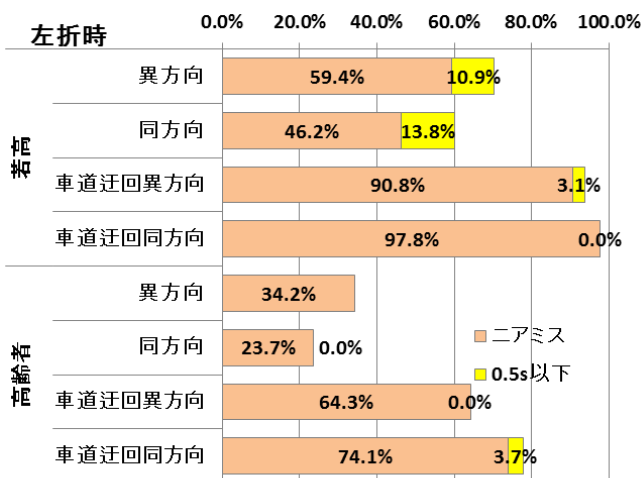


図4 自動車左折時 出現方向タイプ別の2台目自転車とのTTC値

d)まとめ 左折時についてまとめると、車道迂回以外の出現方向タイプでみた場合、危険感5、接近距離0.5m以下、ニアミス発生といった危険状態の発生率でみると、同方向で出現するタイプのほうが、異方向で生じるタイプよりも危険性が低くなっている。ただし、車道迂回タイプでは逆の傾向が見られている。

(2) 自動車右折時の比較分析結果

a)危険感の評価 図-5は、右折実験における、出現方向タイプ別の危険感の評点が4、5であった割合を示している。車道迂回以外のタイプでは、危険感4、5の合計割合でみても、同方向の危険感が異方向よりもやや低い傾向が見られる。車道迂回の場合は、左折同様に同方向がむしろ異方向よりも危険感が高い割合が大きい。

b)接近距離 図-6は、右折時の出現方向タイプ別の接近距離との関係を示している。車道迂回以外のタイプでは、若年者と高齢者と異なる傾向がみられ、高齢者では同方向の場合、近接した状況が発生せず、異方向に比べて安全となっている。ただし、若年者では逆の傾向が見られる。また、車道迂回を含むシナリオの接近距離でも、同方向が異方向よりも近接した状況が少ない傾向が見られる。

c)TTC値 図-7は、右折時の出現組合せと最小TTCの関係を示している。これについても車道迂回以外のタイプでは、若年者と高齢者と異なる傾向がみられ、高齢者では同方向の場合、TTCが0.5 s以下の危険状態が発生しておらず、異方向に比べて安全となっている。若年者では異方向の方が同方向よりもニアミス・0.5s以下の割合が少ない傾向になっている。車線迂回のタイプでは、異方向の場合、同方向よりも危険状態の発生率が大きくなっている。

d)まとめ 右折時についてまとめると、出現方向タイプでみた場合、高齢者では、危険感、接近距離、ニアミス発生といった危険状態の発生率でみて、同方向で出現するタイプのほうが、異方向で生じるタイプよりも危険性が低くなっている。また、車道迂回タイプでも同様の傾向が見られている。ただし、若年者では、逆の傾向が見られている。

4. おわりに

今回の実験では、いくつかのケースで2つの主体が同方向で出現するケースが、異方向で出現する場合よりも安全であることを指示しているが、逆のケースも見られている。DS酔いの影響によりサンプルの偏りや、シナリオ制御の自転車が自動車の見えない部分から衝突するなどの現象も発生していることから、酔いの生じにくいスクリーン形状への改善、シナリオの改良を行って実験

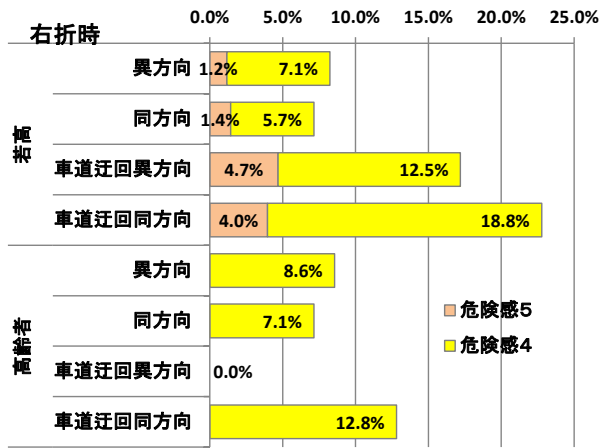


図-5 自動車右折時 出現方向タイプ別の危険感

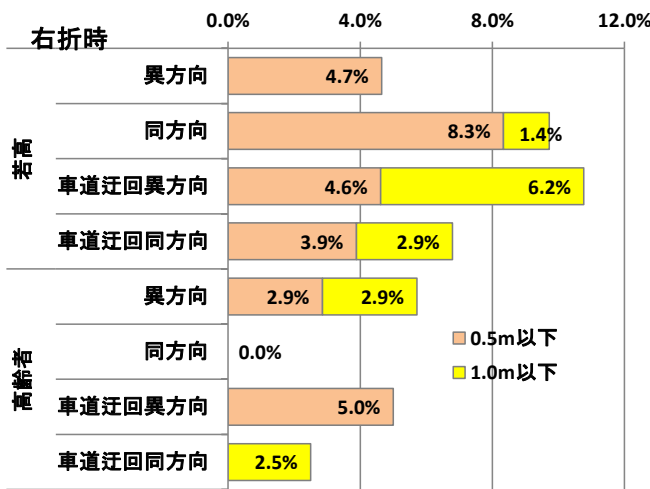


図-6 自動車右折時 出現方向タイプ別の2台目自転車との接近距離

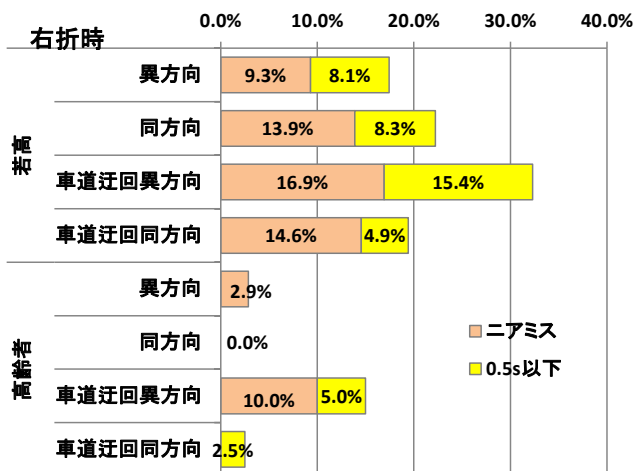


図-7 自動車右折時 出現方向タイプ別の2台目自転車とのTTC値

を再試行することを進めている。可能であれば発表時に結果を公表したいと考えている。

謝辞：本研究の分析は科学研究費補助金・基盤研究 (A) 16H02369.の一環として実施している。

参考文献

- 1) 交通工学研究会：自転車通行を考慮した交差点設計の手引き, 2015
- 2) OECD/International Transport Forum, Cycling, Health and Safety, OECD Publishing/ITF., 2013
http://dx.doi.org/10.1787/9789282105955-en
- 3) 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, 交通事故総合分析センター平成 24 年第 15 回交通事故調査・分析研究発表会論文集, 2012.
- 4) 萩田賢司, 森健二, 横関俊也, 矢野伸裕(警察庁科学警察研究所)：自転車の進行方向に着目した交差点自転車事故の分析, 土木学会論文集 D3, Vol.70, No.5, pp.I-1023~I-1030, 2014
- 5) CROW: Design manual for bicycle traffic, 2007
- 6) 小島拓郎, 山中英生, 三国成子, 森万由子：細街路における自転車指導帯ネットワークの整備効果, 一 金沢市まちなか地区一, 土木計画学研究・講演集, Vol.53, CD-ROM, 2016.
- 7) 金子正洋, 松本幸司, 他(国土技術政策総合研究所)：自転車事故発生状況の分析, 土木技術資料, Vol.51, No.4, 2009
- 8) 海老澤綾一：自転車の通行位置及び自転車関与事故の経年変化に関する一考察一環七通りを対象に一, 第 36 回交通工学研究発表会講演集, 2016
- 9) A. RAHIMI A. Rahman, 小嶋文, 久保田尚：交差点における自転車安全対策に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No.45, 2012.
- 10) 国土交通省, 警察庁：安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン, 2016.7
- 11) 小川倫, 高見淳史, 大森宣暁, 原田昇：自転車と左折自動車の交錯を考慮した交差点整備方式の評価ーマルチエージェント・シミュレーションを用いてー, 交通工学研究発表会論文集, No.34, pp.531-536, 2014.
- 12) 永松啓伍, 溝口諒, 山中英生：ドライビングシミュレータを用いた信号交差点左折時の自転車安全対策の評価実験, 土木計画学研究・講演集, No.53, 2016