

ドライビングシミュレータ右左折実験による 信号交差点での自転車通行システムの比較評価

吉岡 宏晃¹・中川 諒一郎²・白川 瑛一³・山中 英生⁴・尾野 薫⁵

¹非会員 株式会社長大 (〒103-0014 東京都中央区日本橋蛸殻町1-20-4)

E-mail:yoshiooo376@gmail.com

²正会員 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:c501831022@tokushima-u.ac.jp

³非会員 四国建設コンサルタント株式会社 (〒771-1156 徳島県徳島市応神町応神産業団地3-1)

E-mail:eiichi.gamer@gmail.com

⁴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

⁴正会員 徳島大学社会産業理工学研究部 助教 (〒770-0814 徳島県徳島市南常三島2-1)

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

日本の自転車事故は交差点の発生割合が高く、信号交差点では自動車右左折時の事故が70%を占める。日本では横断帯の両方向から現れる自転車にドライバーは注視しなくてはならない。自転車ガイドラインでは矢羽根型路面表示によって、自転車の車道左側通行を推進する施策が進められている。本研究では、信号交差点において、自転車が両側通行する状況に比して、車道部左側通行する状況で危険性が低下することを明らかにすることを目的としている。このため、ドライビングシミュレータを用いて、自転車の横断帯・車道の通行割合を変化させた状況下で自動車が右左折する実験を行った。この結果、自転車が横断帯を両側通行している状態に比べて、車道を左側通行している場合には、衝突の危険性、運転者のストレス、危険感ともに低下す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いるが、これは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からも、自転車の双方通行状況が無批判に認めている状況が、我が国の自転車の危険性の一因であることが推察される。

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る可能性が高いことを示している。ただ

右折時					
	自転車レーン	300台	450台	600台	900台
歩道左側	300台	450台	600台	300台	0台
歩道右側	600台	300台	0台	0台	0台
	AAワールド	ABワールド	BBワールド	BCワールド	CCワールド

左折時					
	自転車レーン	300台	450台	600台	900台
歩道左側	300台	450台	600台	300台	0台
歩道右側	600台	300台	0台	0台	0台
	AAワールド	ABワールド	BBワールド	BCワールド	CCワールド

図-1 ワールド別方向別自転車通行量の設定

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。

また、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。また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、中川ら¹³⁾によるドライビングシミュレータを用いた錯綜を再現した実験を行った結果、両側通行している状態で衝突が発生しやすいことが明らかになっている。自転車利用者の走行空間選択時の精神的負担に着目した研究¹⁴⁾では通行帯選択状況により精神的負担に差異が生じることが明らかになっている。しかし、自動車が信号交差点右左折時に自転車が自然に発生した場合の両側通行の危険性や自動車運転者の精神的負担については明らかにされていない。

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、ドライビングシミュレータ（以下DS）を用いて、信号交差点で自転車や歩行者が一定量交差点を横断している状況を再現し、被験者が自動車を運転して右/左折する。この際、横断帯および車道レーン部から現れる割合を変化させて、自動車の挙動を計測し、安全性、運転者の精神的負担、危険感を比較した。

2. ドライビングシミュレータ実験の概要

1) 自転車・歩行者の出現ワールド

DSによる実験は信号交差点において被験者が操作する自動車が右/左折する際に、自転車が交差点に平均して3秒に1台の割合で出現する状況を再現した。この際、自転車・歩行者は、車道混在（矢羽根）タイプの信号交

差点で見られる一般的な挙動を想定している。すなわち、自転車は1.車道左側を直進、2.横断歩道部を車両と同方向（左側通行）する。3.横断歩道部を車両とは逆方向（右側通行）する。の3種類、歩行者については横断歩道を車両と同方向（左側通行）する、横断歩道を車両とは逆方向（右側通行）する2種類を設定した。

自転車が3種類の方向から同程度現れる状況をAAワールド、自転車が車道と横断帯を左側のみ通行するワールドをBBワールド、自転車が車道左側のみを通行しているワールドをCCワールドと設定し、それぞれの間状態をABワールド、BCワールドとしている（図-1）。このように両側通行から車道左側通行へと自転車の通行台数が遷移していく状況を再現した。

2) DS実験の流れ

被験者は両側通行、左側通行、車道左側通行と5つのワールドが徐々に自転車の通行位置が整序化されていくパターン、車道左側通行、左側通行、両側通行と徐々に両側から自転車が出現するパターンの2パターンのいずれかを走行した。被験者には、練習走行をしてDSの運転に慣れさせた後、普段どおりの運転を心がけるよう指示した。実験では、被験者は4つの交差点を周回し、それを1回の走行とし、各ワールド3周ずつ行った。交差点の種類は幅員の広い4車線交差点、幅員の狭い2車線交差点の2種類で、1種類の交差点で5ワールド行った後、もう1種類の交差点で5ワールドを行った。右折、左折の実験はそれぞれ別の被験者としている。被験者は全て大学生で、総数は18名（内2名はDS酔いで途中中止）である。写真-1にDSの概要、図-3に交差点平面図を示す。

3) 安全性の評価指標

本研究では、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。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。評価では、DSのログデータに記録された自動車と自転車の走行軌跡より、TTCが0.1秒以下を危険、0.5秒以下を準危険状態として、その発生比率で評価した。

また被験者である自動車運転者が運転時に感じたストレスを計測するためにS&ME社製「M-biolog2」を用いて心拍の計測を行った。分析にはRRIと呼ばれる心拍間隔を用いた。RRIはストレスを感じると数値が小さく、変動も小さくなるとされており、分析は交差点種別の各ワールドごとの変動係数（標準偏差/平均）の中央値を取り比較を行った。

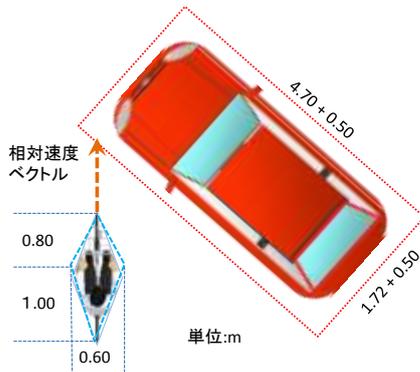


図-2 TTC算出のための占有空間の設定



写真-1 ドライビング・シミュレータの概要



図-3 4車線交差点（左）と2車線交差点（右）

さらに被験者の体感指標として、4つの交差点を右折/左折する毎に、状況の危険性について5件法で解凍させた。

3. 分析結果

(1) 4車線交差点・右折時の分析結果

a) TTC指標 図-4に4車線交差点右折時のワールド別のTTC値が0.1s以下、0.1～0.5sの割合を示す。特に危険な0.1s以下の割合では両側通行のAA,ABワールドで高い割合となっている。

b) RRI指標 図-5に同様にワールド別のRRI変動係数の中央値を示す。両側通行のAA, ABワールドで最も値が低く被験者のストレスが高く、車道左側通行のCCワールドでは被験者のストレスが低下している。

c) 危険感 図-6の危険感ではAB, BCワールドの危険感が高く、むしろ現状に近いAAワールドで危険とする割合が低くなっている。ただし、安全と感じる割合ではCCワールドが最も安全となっている。

(2) 2車線交差点・右折時の分析結果

a) TTC指標 図-7に2車線交差点における右折時ワールド別のTTC値の割合を示す。0.1s以下、0.5s以下の割合では両側通行のAA, ABワールドで高く、左側通行のBCワールドと車道左側通行のCCワールドで低い。

b) RRI指標 図-8に同様のワールド別のRRI変動係数の中央値を示す。両側通行のAA, ABワールドが値が小さく被験者のストレスが高く、車道左側通行のCCワールドの値が最も高くストレスが低くなっている。

c) 危険感 図-9にワールド別の危険感の分布を示す。安全とする1.2の割合はAAで最も低く、BC, CCワールドで高くなる。整序化で安全感が増す傾向がみらる。

(3) 4車線交差点・左折時の分析結果

a) TTC指標 図-10に4車線交差点左折時のワールド別TTC値の分布を示す。特に危険な0.1s以下の割合では両側通行のAA,ABワールドで高い割合となり、0.5s以下でも同様である。

b) RRI指標 図-11にワールド別RRI変動係数中央値を示す。左側通行のBBワールドで最もストレスが低く、両側通行のAAワールドで最もストレスが高い。

c) 危険感 図-12の危険感では、危険感4以上の割合で両側通行のAA, ABワールドが高く、安全感1の割合は自転車が整序化すると増加する傾向がみられる。

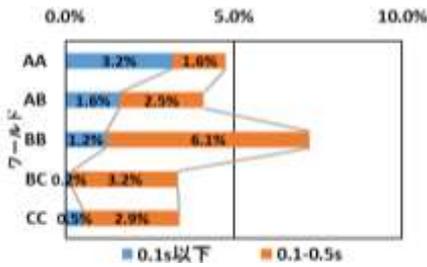


図-4 4車線・右折時のTTC指標値の分布

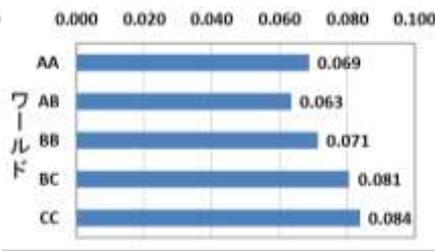


図-5 4車線・右折時のRRI指標

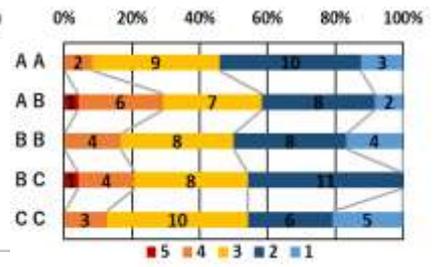


図-6 4車線・右折時の危険感分布

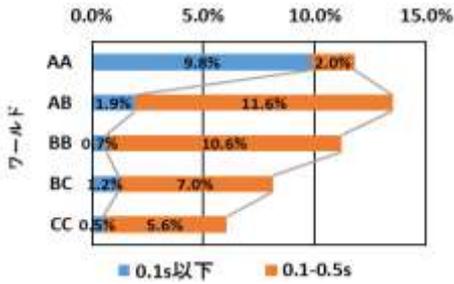


図-7 2車線・右折時のTTC指標値の分布

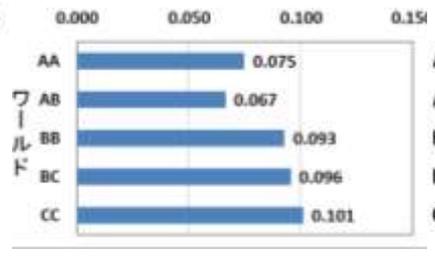


図-8 2車線・右折時のRRI指標

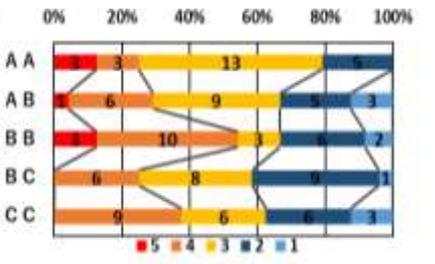


図-9 2車線・右折時の危険感分布

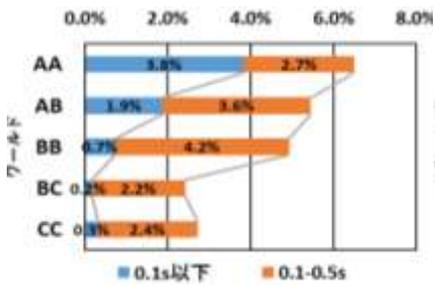


図-10 4車線・左折時のTTC指標値の分布

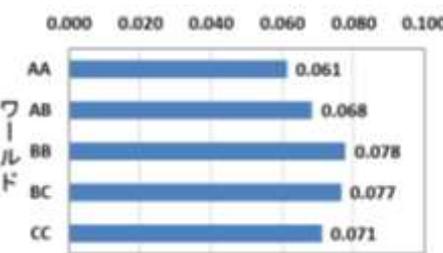


図-11 4車線・左折時のRRI指標

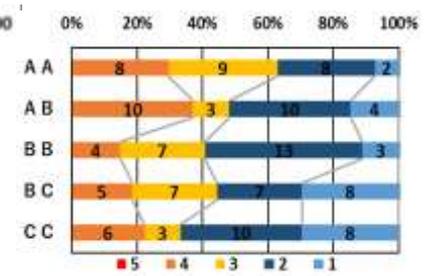


図-12 4車線・左折時の危険感分布

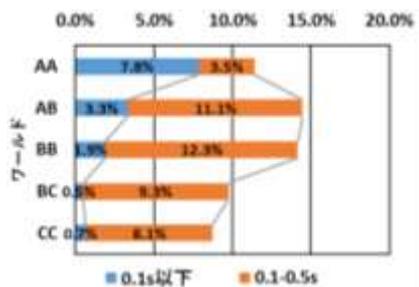


図-13 2車線・左折時のTTC指標値の分布

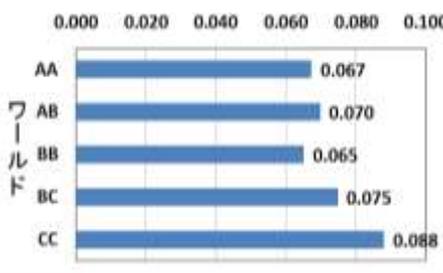


図-14 2車線・左折時のRRI指標

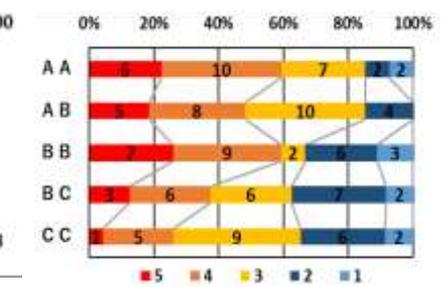


図-15 2車線・左折時の危険感分布

(4) 2車線交差点・左折時の分析結果

a) TTC指標 図-13に2車線交差点左折時のワールド別のTTC値の割合を示す。危険な0.1s以下の割合では両側通行のAAワールドが最も高く、車道左側通行のCCワールドへ自転車が整序化されると減少している。

b) RRI指標 図-14のワールド別のRRI値では、左側通行

のBBワールドの値が低く被験者のストレスが高く、車道左側通行のCCワールドで値が高くストレスが低い。

e) 危険感 図-15の危険感では、危険5の割合はCCワールドが最も低く、安全1.2の割合は自転車が整序化されると増加する傾向がみられる。

4. おわりに

今回の実験では、信号交差点での自動車右左折時の自転車の両側通行の危険性と自動車運転者が両側通行時に精神的負担を感じていることが明らかになった。しかし、自転車運転者の車道通行に対する不安感があることから自転車利用者の車道通行への不安を解消する必要がある。

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
- 13) 中川 諒一郎, 吉岡 宏晃, 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における自転車通行システムの安全性評価, 第 57 回土木計画学研究発表会・講演集, No.23-04, 2018
- 14) 渡辺和憲, 金利昭 心拍変動を用いた自転車利用者のストレス分析に関する考察, 土木計画学研究・講演集 No92 2011