

# 協調型DSを用いた信号交差点右左折時の 自転車通行整序化の安全性評価

白川 瑛一<sup>1</sup>・吉岡 宏晃<sup>2</sup>・山中 英生<sup>3</sup>・尾野 薫<sup>4</sup>・中川 諒一郎<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 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

<sup>2</sup>非会員 株式会社長大 (〒103-0014 東京都中央区日本橋蛸殻町一丁目20番4号)

E-mail:yoshiooo376@gmail.com

<sup>3</sup>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

<sup>4</sup>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

<sup>5</sup>学生会員 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

自転車事故は約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割を占めている。細街路では、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と車道左側通行の安全性を明らかにすることを目的としている。協調型DS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、被験者の危険感・最接近距離・TTCの評価指標で、自転車両側通行システムは車道左側通行に整序化された通行システムより危険性が高いことが示唆される結果となった。

**Key Words :** Signalized intrsections, bicycle safety, driving simulator, TTC

## 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<sup>1)</sup>。我が国の自転車事故は、約70%が交差点で発生しており、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。この原因として、我が国の全ての交差点において、自転車が両方向から進行してくる通行システムの問題が指摘されている。

既存研究<sup>2)</sup>によると、細街路等で自動車が非優先側の交差点では、自動車が直進・左折する時には左側からの自転車との事故割合が高いが、右折する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。また、信号交差点での分析例<sup>3)</sup>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。このように、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のも、交差点で両方向から進行してくる自転車の存在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、交差点部での自転車の双方通行が我が国の自転車の通行システムの重大な問題であることが指摘できる。

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<sup>4)</sup>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<sup>5)</sup>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<sup>6)</sup>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<sup>7)</sup>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<sup>8)</sup>、ドライビングシミュレータ実験を用いた研究<sup>9)</sup>でも同様の結果が示されている。中川ら<sup>10)</sup>は、自転車が両側通行、左側通行、車道左側通行で走行している状態を”ワールド”として、ドライビングシミュレータを用いて幹線道路信号交差点での右左折自動車と自転車との錯綜を再現した実験を、自動車左折時の自転車車道通行を除いて行い、両側通行のワールドの危険性を示した。しかし、信号交差点における自転車両側通行システムの危険性、左折巻き込みの危険性について、同一条件下での比較分析は行われていない。

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動車の右左折時における自転車の双方向通行と一方向通行のシステムの危険性を比較することで、双方向通行の危険性と車道左側通行の安全性を明らかにすることを目的とした。具体的には、自動車・自転車双方を同一空間上で同時に操作できる協調型ドライビングシミュレータ（以下協調型DS）を用いて、自動車ドライバーの被験者が信号交差点を右左折する際に、直進横断する2台の自転車、または歩行者に続いて自転車を出現させ、出会い頭事故が起きやすい錯綜状況を再現する。そして、この時の自動車ドライバーの挙動を計測し、自動車と自転車の接近距離、自動車と自転車の衝突安全性をTTC指標（Time To Collision）、ドライバーの危険感の指標を用いて安全性の評価を行う。この際、自動車に対して非優先状態が想定される2台目の自転車が車道左側通行の場合、モニター（実験協力者）に自転車シミュレータを走行させ、被験者の運転する自動車に対して減速・停止の挙動をさせた。なお、本研究では、自転車が左側通行、両側通行、車道左側通行で走行している状態を”ワールド”として、繰り返しの実験を行った。危険性に関する指標について、ワールド間で比較することで自転車両側通行システムの危険性を評価するものである。

## 2. 協調型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

協調型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、錯綜が生じやすい状況を再現した。

具体的には協調型DSの機能を用いて、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ぎした後、再発進しようとした時点で2台目の自転車が出現するようになっており、本研究では2台目自転車に対する右左

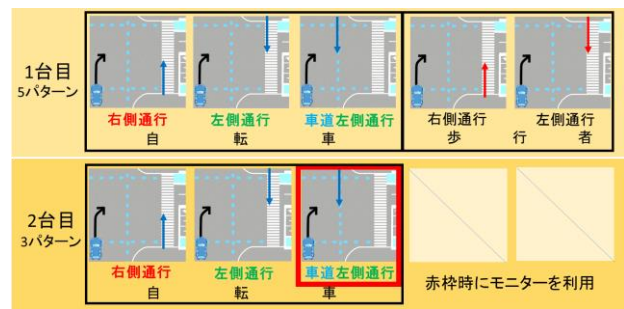


図-1 自動車右折時の自転車・歩行者の通行パターン

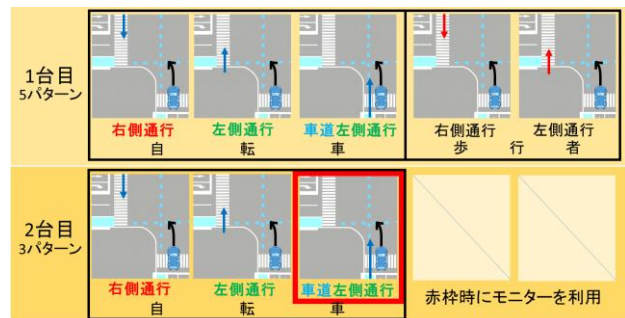


図-2 自動車左折時の自転車・歩行者の通行パターン

折自動車の挙動を分析対象とする。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。自動車右折時は図-1に示すように、1台目の自転車は1.車道左側（自転車レーン）を直進、2.横断歩道を左側通行（順走）する。3.横断歩道を右側通行（逆走）する。の3種類、さらに歩行者についても4.横断歩道を左側通行する。5.横断歩道を右側通行する。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（自転車レーン）走行、2.横断歩道を左側通行（順走）する。3.横断歩道を右側通行（逆走）する。の3パターンとした。自動車左折時も図-2に示すように、右折時同様1台目の自転車3種類に両側歩行者を加えた5パターン、2台目の自転車3パターンとした。さらにこのパターンについて、表-1に示すように、15パターン全ての場合が繰り返される自転車が両側通行する状況をワールドA、自転車が左側通行のみで現れる8パターンが繰り返される状況をワールドB、自転車が車道左側のみ通行する3パターンが繰り返される状況をワールドCと設定した。

なお、自動車に対して非優先状態が想定される2台目が車道左側通行の自転車では、モニター（実験協力者）に自転車を走行させ、被験者の運転する自動車に対して非優先となる場合に減速・停止の挙動をさせた。

### 2) 協調型DS実験

被験者は右左折について、A,B,Cのワールドを、それぞれの自転車・歩行者の出現パターンをランダムな順番に10回続けて経験させた（1人60ケース）。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

表-1 実験パターンとワールド

	2 台目	自転車	1台目				
			自転車			歩行者	
			右側 通行	左側 通行	車道 左側	右側 通行	左側 通行
右折	自転車	右側 通行	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC
		左側 通行	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC
		車道 左側	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC
左折	自転車	右側 通行	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC
		左側 通行	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC
		車道 左側	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC

いて運転を心がけるよう指示した。若年者（大学生）18名で実験を行い、右左折実験共に540ケースを観測した。

### 3) 錯綜の評価指標

本研究では、1回の走行毎に自転車に対して危険を感じたかを、5を最も危険とした5件法で回答させた。自転車の自動車の接近性を示す指標として、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危険とした。

さらに、錯綜状況の危険性を評価するため、多くの錯綜指標のうち、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、両者の軌跡が交差しな場合無限大となる欠点を補うため、衝突を占有空間の重なりで判定し、さらに自動車の占有空間にバッファ空間を加え、ニアミスを考慮できるようにした。

具体的には図-3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。

自動車、自転車被験者ともに自動車が走行開始し右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、1.0秒以下を危険状態として、その発生比率で評価した。

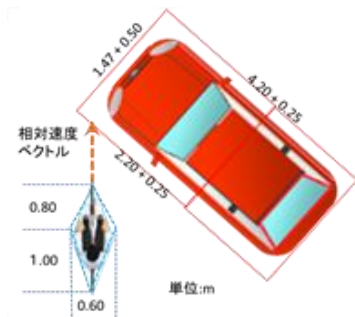


図-3 TTC算出のための占有空間の設定

## 3. 分析結果

### (1) 自動車右折の比較分析結果

#### a) 危険感の評価

図-4は、自動車が右折する場合の通行ワールドと危険感の関係を示している。

これによると、両側通行の方が、左側通行、車道左側通行と比べて高い危険感を回答する人の割合が高くなっていることがわかる。しかし、カイ二乗検定のp値は0.162であり、3ワールドに有意差がみられているとは言えない。

#### b) 接近距離

図-5は、同じく右折時の2台目自転車との接近距離と通行ワールドの関係を示している。

この指標でも両側通行の方が、左側通行、車道左側通行と比べて最接近距離が短いケースの割合が高くなっている。カイ二乗検定のp値は0.000であり、3ワールドにおいて有意差がみられる。

#### c) TTC値

図-6は、自動車右折時の2台目自転車との最小TTC値と通行ワールドの関係を示している。

この指標でも両側通行の方が、左側通行、車道左側通行と比べて最小TTCが低いケースの割合が高くなっている。カイ二乗検定のp値は0.000であり、3ワールドにおいて有意差がみられる。

### (2) 自動車左折時の比較分析結果

#### a) 危険感の評価

図-7は、左折実験における、通行ワールドと危険感の関係を示している。

これによると、両側通行よりも車道左側通行の方が安全であるということがわかる。ただし、左側通行が両側通行よりも危険であるという結果もわかる。これは左折時は横断歩道を左側通行する自転車と接近しやすいことが原因であると考えられる。ただし、カイ二乗検定のp値は0.248であり、有意な差があるとはいえない。

#### b) 接近距離

図-8は、左折時の通行ワールドと2台目最接近距離の関係を示している。

この指標でも両側通行よりも車道左側通行の方が安全であるということがわかる。Pearsonのカイ二乗検定によると、p値は0.000であり、有意差がみられる。

#### c) TTC値

図-9は左折時のワールドとTTC値の関係を示している。

この指標でも、両側通行よりも車道左側通行の方が安全であるということがわかる。カイ二乗検定のp値は0.000であり、有意差がみられる。

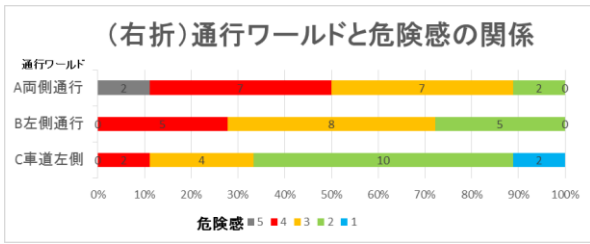


図-4 自動車右折時 通行ワールド別危険感

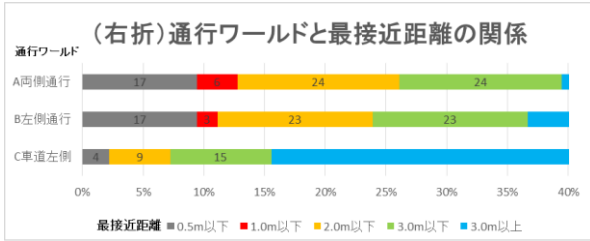


図-5 自動車右折時 通行ワールド別最接近距離

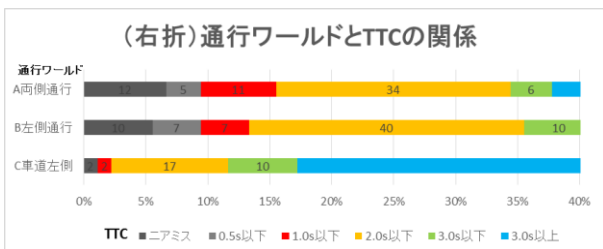


図-6 自動車右折時 通行ワールド別TTC値

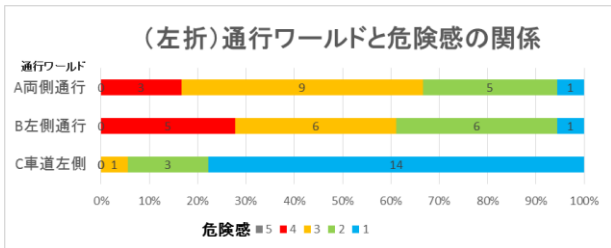


図-7 自動車左折時 通行ワールド別危険感

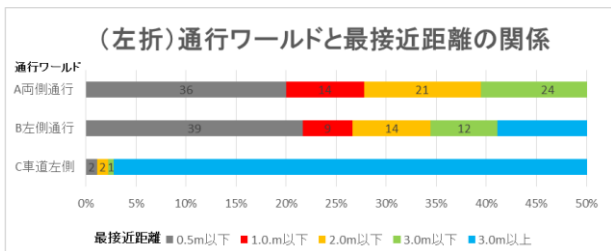


図-8 自動車左折時 通行ワールド別最接近距離

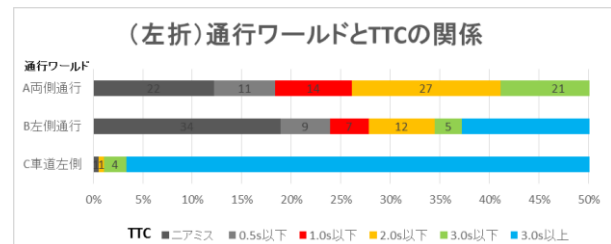


図-9 自動車左折時 通行ワールド別TTC

#### 4. おわりに

自動車が信号交差点を右左折する時の直進自転車との錯綜については、車道左側通行よりも両側通行のワールドの方が危険であることが危険感・最接近距離・最小TTCの評価指標で示唆され、自動車右左折時における自転車両側通行システムの危険性と車道左側通行の安全性が明らかとなった。

謝辞：本研究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) 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.
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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.
- 7) 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
- 8) 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.
- 9) 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
- 10) 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