

信号交差点における自転車横断帯 セットバック距離の違いによる 自転車・自動車の錯綜現象の比較分析

酒井 伊吹¹・吉田 長裕²

¹ 非会員 近畿地方整備局 福井河川国道事務所 (〒918-8015 福井県福井市花堂南 2-14-7)

E-mail: iv.universe10969@gmail.com

² 正会員 大阪市立大学准教授 大阪市立大学大学院工学研究科 (〒558-0022 大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138)

E-mail: yoshida@eng.osaka-cu.ac.jp

日本において、交差点における自転車通行空間は直線的に整備することとされている一方で、北米等の諸外国では、自転車通行空間を車道端から大きくセットバックすることで安全性を高める試みがされている。しかしながら、自転車と自動車の錯綜条件が変化することによって、自転車等の安全性にどういった影響があるかについては明確になっていない。そこで、本研究では、信号交差点における自転車横断帯の位置に着目し、車道端からのセットバック距離が異なる信号交差点を観測することによって自転車・自動車の走行挙動や錯綜危険度がどのように変化するかについて、ビデオ解析手法により分析を行った。

Key Words: bicycles lane bikeway setback, signalized intersection, conflict phenomenom

1. 研究背景・目的

日本では、自転車事故の多くは交差点で発生しているため、交差点構造をより安全にすることが求められている。関連する技術基準として、「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン¹⁾」が定められるなど、全国で自転車通行空間の整備が進められている。ガイドラインでは、自転車通行空間は交差点部においても直線的に接続することを基本としており、車道端の延長線上に矢羽根状の路面標示を設置することとされている。しかし、現状ガイドラインの整備方法では、交差点内で自転車が大型車の死角になる恐れがあるなどの課題がある。交差点での自転車の安全性を高める構造として、オランダの交差点を参考に近年北米で導入が進む「protected intersection²⁾」があり、自転車横断帯を車道端から数メートルセットバックすることで安全性を高める試みがされているが、これらの条件が自転車等の安全性にどう影響するのかが明確に示されていないのが現状である。そこで、本研究では、自転車横断帯のセットバック距離の異なる信号交差点を観測することで、自転車及び右左折車の走行挙動および錯綜危険度の違いについて分析を行う。

2. 研究方法

2.1. 観測対象交差点の概要と分析データ

車道端からの自転車横断帯のセットバック距離が異なる信号交差点として、付近に横断歩道橋が存在し高所からの撮影が可能かつ、単路部に自転車通行空間を有する森ノ宮公団住宅前交差点、平野市役所前、八幡屋交差点(以下、森ノ宮、平野、八幡屋)の3交差点を選定し(表1)、自転車交通量の朝ピーク時間帯において横断歩道橋上からビデオカメラによる撮影を一時間行った。なお、八幡屋については他交差点に比べ、錯綜件数が極めて少なかったため、追加で撮影・分析を行っている撮影した映像からディープラーニングによって物体検知を行う Faster ータを取得した。

表1 対象交差点の概要

交差点	森ノ宮	平野	八幡屋
セットバック距離	1.5m	3.0m	5.5m
撮影日時	12/20 8:00-9:00	12/19 7:30-8:30	1/10 8:15-10:30 1/11 7:15-11:40
対象流入路	南	北	北

表 2 座標設定地点

交差点	順走 自転車	逆走 自転車	左折 自転車	右折 自転車
森ノ宮	中点 (前輪)	中点 (後輪)	右端 (前輪)	左端 (後輪)
平野	左端 (後輪)	左端 (前輪)	右端 (後輪)	左端 (前輪)
八幡屋				

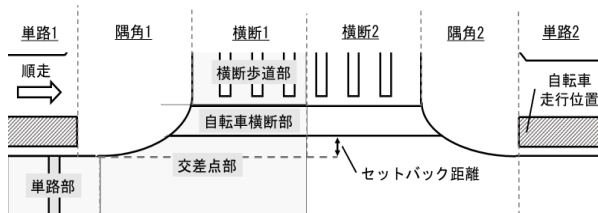


図 1 分析区間

Faster R-CNN による物体検知は静止画から歩行者・自転車・自動車等のクラスデータと箱状に対象の上下左右端について、静止画左上からのピクセル数による座標データを得ることができる。分析を行う自転車及び自動車のとる座標について、y 軸方向は接地点である下端としたが、x 軸方向については交差点に対する撮影角度を考慮し表 2 のように設定した。また、静止画によって対象が遠い場合や対象の重なっている等の理由から下端の座標が地面に接していない等、検知の精度が低いものがあり、それらについては分析対象から除外した。

その後、斜めから撮影した動画の座標について、対応する平面図上の座標に射影変換を行った³⁾。射影変換について、撮影した映像の静止画上の座標を (x_p, y_p) と表し、平面図上に射影した座標を (x'_p, y'_p) とし、 $a_0 \sim c_2$ をパラメータとすると、 (x_p, y_p) から (x'_p, y'_p) への座標変換は次式で表される。

$$x'_p = \frac{a_1 x_p + b_1 y_p + c_1}{a_0 x_p + b_0 y_p + 1}, \quad y'_p = \frac{a_2 x_p + b_2 y_p + c_2}{a_0 x_p + b_0 y_p + 1}$$

パラメータの数は 8 個なので、変換前後の異なる 4 点の座標を用いてパラメータの値を決定した。

2.2. 分析内容・方法

自転車横断帯のセットバック距離の違いによる錯綜有無別の走行挙動及び錯綜危険度の違いを明らかにするため、得られた座標を用いて自転車及び右左折車の速度変化について以下の分析を行った。なお、本研究における錯綜の定義は、交差点進入時にそのまま進むと衝突の恐れがあり、減速やハンドル操作といった回避行動をとったものとした。また、非錯綜時の走行挙動について、すべてを分析することは困難であったため、錯綜時と同程度の件数を撮影した動画内から抽出し、分析を行った。

a. 自転車走行速度変化

自転車横断帯において、左側通行を行う自転車を順走、右側通行を逆走とし、対象交差点において錯綜の有無別による走行速度を 6 つの区間で比較した(図 1)。なお、単路部は自転車通行空間が不連続の場合は通行区間の末端まで、連続の場合は車道端の曲線部までの直線区間までとした。隅角部は単路部と自転車横断帯の間、横断部は自転車と自動車の錯綜位置が決まっているため、車道のセンターラインの延長線を境に 2 つの区間に分割を行った。走行速度については、自転車が奥に位置したり、真正面を向いた際などに Faster R-CNN に認識されない場合に誤差が生じたことから、誤差をできるだけ少なくするために各区間ごとの平均速度とした。

分析対象について、流入する単路部から錯綜地点である横断部 1 まで直進した自転車を対象とし、途中で右左折したものや停止した自転車は除外した。また、錯綜時に自動車との間に歩行者が存在する等他の要因による影響があるものについても分析対象から除外した。

b. 右左折自動車速度

右左折の速度について、対象交差点ごとに 4 つの区間において錯綜の有無別による速度の分析を行った(図 1)。単路部は車道端の曲線部までの直線区間とし、隅角部は単路部と自転車横断帯の間の区間、自転車横断部・横断歩道部については自転車横断部・横断歩道の区間とした。なお、森ノ宮・八幡屋においては信号制御により、横断者と右折車の分離がされているが、ITARDA⁴⁾によると右折車と自転車の事故は左折車と同程度発生しているため、森ノ宮・八幡屋についても非錯綜時の右折自動車の走行速度変化について分析を行った。なお、自動車の走行速度について、自転車の走行速度と同様に誤差を小さくするため区間ごとの平均速度とした。

分析対象として、先行自動車の横断者待ちによる停止の影響を受けるものや、錯綜時に自転車との間に歩行者が存在する等他の要因による影響があるものについても分析対象から除外した。

c. TTC を用いた錯綜危険度分析

錯綜時の危険度を分析するため、コンフリクト指標である TTC(Time To Collision)を用いた。TTC とは、回避行動を伴わずに速度や進行方向を維持すると仮定した場合の衝突までの時間を表す指標である。本研究において、TTC は物体認識による誤差をなるべく小さくするため、静止画 3 枚ごとに速度の平均をとり、減速地点にて走行軌跡及び走行速度を維持した右左折車と、自転車の錯綜地点での到達時間差によって算出を行った。なお錯綜地点について自転車と自動車の軌跡交点とし、右左折車が交差点部から自転車横断部までにて減速を行う前の速度

が維持された時、最も TTC が 0 に近い地点を減速地点とした。TTC について、0 のとき自転車と自動車とが衝突し、錯綜危険度が高い状態であり、TTC が 0 より大きいとき錯綜地点において右左折車が優先して通過、0 より小さいとき自転車が優先して通過する。

3. 分析結果

a. 自転車走行速度変化

順走自転車について区間ごとの自転車の平均走行速度変化を図 2 に示す。走行速度について、物体認識による座標の取得方法では自転車の車輪の設置点を精度良くトレースできなかったことなどの理由から、座標から速度を算出する際に高い値となることがあり、結果として平均速度が高い値となってしまった。走行速度の変化について自転車と自動車とが錯綜する横断 1 区間に着目する。速度変化の傾向については錯綜の有無にかかわらずほぼ同様の傾向となり、森ノ宮では横断 1 区間までの減速がみられた。平野では横断 1 区間の 1 つ手前の区間までの減速がみられた。八幡屋では減速はみられず、速度変化は小さい結果となった。3 交差点の走行速度変化の比較から、自転車横断帯の車道端からのセットバック距離が大きくなることで自転車の減速のタイミングが早くなる結果となった。このことからセットバック距離が大きくなるほど横断帯への進入する自動車の視認性が向上することにより、減速のタイミングが早くなると考えられる。

次に、逆走自転車にの速度変化は図 3 のようになった。森ノ宮・平野においては順走時と同様の傾向がみられた。八幡屋は順走時とは異なり、横断 1 区間手前までの減速がみられたが順走時と同様に速度変化の幅は小さく、傾向を掴むため更なるサンプルの分析が必要がある。

b. 右左折自動車速度

右左車速度について、自転車との錯綜が発生しうる自転車横断部における平均速度の分析結果を図 4 に示す。左折自動車について着目すると、非錯綜時は車道端からのセットバック距離による走行速度の違いはほとんどないが、錯綜時の速度は森ノ宮が他 2 交差点よりも大きく減少していた。また、錯綜時における平野、八幡屋の速度減少はほぼ同程度であった。この結果は、森ノ宮における自転車横断帯のセットバック距離について、自動車が横断待ち時に滞留するために必要とされる 3 メートル以下であるために、自動車が浅い角度で自転車横断帯部に進入する必要があり、横断者に対する安全確認をする際に大きく首を振って確認する必要があることが走行速度にも影響しているものと考えられる。

c. TTC を用いた錯綜危険度分析

観測交差点ごと TTC の平均値を表 3 に示し、交差点ごとの比較を行うため、交差点ごとに TTC を標準化した分布を図 6 に示す。交差点ごとの TTC の平均値について、森ノ宮の TTC の平均が最も低く、TTC は 0 秒付近を中心にピークが 1 つある分布となった。平野について、平均が 1.60 秒となり、0 から 0.25 秒と -1 から -0.75 秒付近が中心のピークの山が 2 つ存在する分布となった。八幡屋について、TTC は平均が 1.34 秒となり、

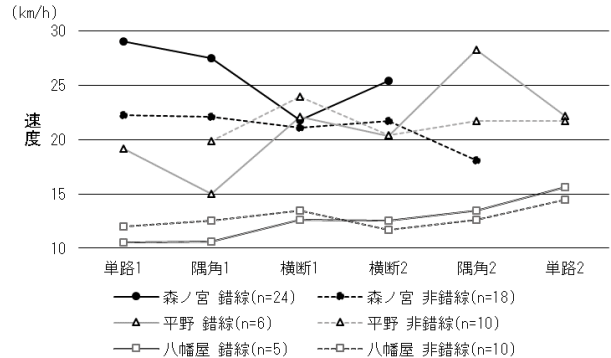


図 2 順走自転車の走行速度変化

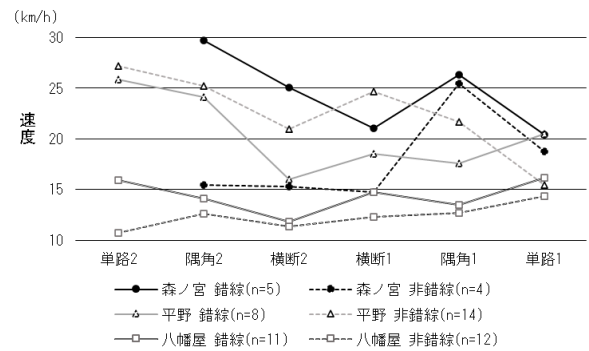


図 3 逆走自転車の走行速度変化

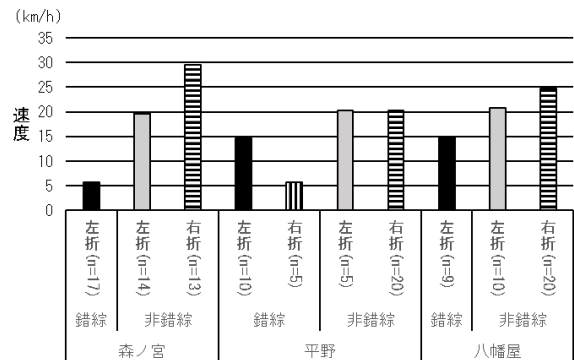


図 4 自転車横断部における右左折自動車速度

表 3 対象交差点における TTC の平均(秒)

交差点	件数	平均	標準偏差	順走	逆走	左折	右折
森ノ宮	31	0.40	2.49	0.33	0.78	0.40	-
平野	22	1.60	2.64	0.96	2.05	1.99	0.57
八幡屋	20	1.34	2.05	2.51	0.56	1.34	-

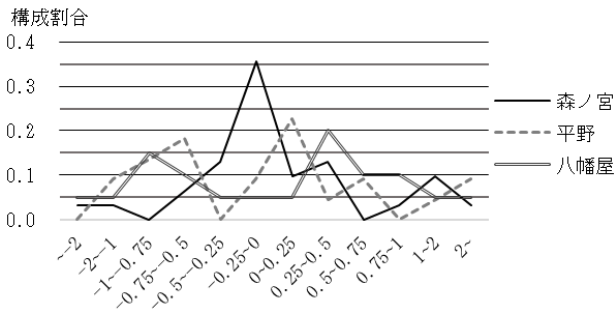


図5 標準化した TTC の分布

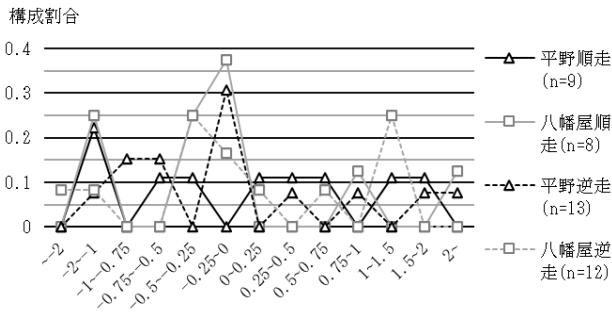


図6 自転車の方向別の標準化した TTC の分布

0.25 から 0.5 秒と -1 から -0.75 秒付近が中心のピークの山が 2 つ存在する分布と TTC の平均値が最も低く、0 付近を中心にピークが存在するため、森ノ宮は錯綜危険度が高い傾向にあるといえる。また、他 2 交差点については TTC の平均値は平野が高く、共に構成割合のピークが 2 つ存在するが、平野の分布が負側にある傾向がみられる。

TTC の算出方法との関係では、TTC が正のときは錯綜地点において右左折自動車が優先して通過していることを表すことから、錯綜地点において平野では自転車が右左折車よりも優先して通行する傾向にあった。このことから、自転車横断帯のセットバック距離が大きくなると、錯綜地点における自転車と自動車の通過の優先関係が変化すると考えられる。平野に比べて八幡屋における順走自転車の減速があまりみられなかったことを考慮すると、錯綜が起ころうなときに、自転車と自動車のどちらが優先して通行するかを互いに判断する位置が変化することが要因ではないかと考えられる。

さらに、自転車の順走・逆走の違いによる TTC の違いについて比較を行った。表 3 より森ノ宮と平野では順走時の TTC の平均値が逆走時よりも小さい傾向にあるが、八幡屋においては逆転している。今回の TTC の算出方法では 0 から離れているほど錯綜危険度は低いといえるため、一概に平均値が大きいために安全とは言えない。そこで、平野・八幡屋について、TTC の順走・逆走別に標準化した TTC の分布について示す(図 5)。平野については、順走・逆走共に一様な分布をしているが、逆走時のほうが相対的に 0 秒付近の構成割合が高く、錯綜危険度が高い傾向にある。また、八幡屋においては、順

走時は負の方向、逆走時には正の方向に多く TTC の構成割合が分布する傾向となったため、順走時のほうが錯綜地点において相対的に自転車が優先して通過するという結果となった。この結果について、八幡屋では自転車横断帯のセットバック距離によって自動車がより大きく交差点流出部に向かって進入することで、自転車からの自動車に対する視認性が向上しているものと考えられる。こういった条件を考慮すると、自転車利用者から自動車の挙動が把握しやすくなったことによって、自動車との相対速度が速くなる逆走の場合は錯綜地点において自動車が優先して通行し、逆に自転車との相対速度が低くなる順走自転車の場合は、錯綜地点において自転車が優先して通行するようになったものと考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見は以下の通りである。

森ノ宮 (セットバック距離 1.5m) では、自転車・自動車挙動が他 2 地点と異なり、錯綜地点まで自転車の減速がみられ、錯綜時自転車は大きく減速していた。錯綜危険度も TTC の平均及び分布から高い傾向にあった。

平野 (セットバック距離 3.0m) ・八幡屋 (セットバック距離 5.5m) において、自動車挙動は同様の傾向がみられたが、セットバックが短い平野のほうが自転車の減速位置が錯綜地点に近い傾向にあった。また、錯綜危険度について、平野のほうが TTC が負に多く分布していたため、錯綜地点において自転車が優先して通過する傾向があり、八幡屋では逆走自転車よりも順走自転車の方が錯綜地点を自動車に先行して通過する傾向があった。

以上の結果を踏まえて、交差点において一方向及び両方向通行の自転車通行空間の交差点への接続を比較すると、一方向通行の自転車通行空間が整備された場合は、自転車横断帯のセットバック距離の短い方が相対的に錯綜危険度が低く望ましいが、両方向通行の場合はセットバック距離が長い方が安全性として望ましいといえる。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局、警察庁交通局：安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン，2012。
- 2) NACTO：Don't Give Up at the Intersection -Designing All Ages and Abilities Bicycle Crossings，2019。
- 3) 瀧澤重志，川地遼佳，吉田長裕，伊藤慎兵：物体検出手法に基づく動画像からの人物の位置と行動の推定法，日本建築学会大会学術講演集（北陸），2009。
- 4) 交通事故総合分析センター：交通安全教育に役立つ自転車事故の分析，2011。