

歩道走行する自転車運転者の歩行者認識

川口寿裕¹, 世良司冴¹

¹関西大学 社会安全学部 安全マネジメント学科

概要

近年、自転車の危険運転が社会問題となっている。コロナ禍でデリバリー・サービスの需要が高まり、宅配業者の自転車による無謀運転も話題になった。自転車は車道を走行するのが原則であるが、歩道を走行することによる歩行者との接触事故も多い。本研究では、実地調査ならびにアイトラッカーを用いた実験を行うことにより、歩道走行する自転車運転者の歩行者認識と回避行動について定量的な把握を試みた。また、得られたデータをもとに、仮想バネモデルを組み込んだ力学ベースモデルを用いて、自転車と歩行者が混在する流れに対して数値シミュレーションを行った。

Pedestrian Recognition of Cyclists on Sidewalk

Toshihiro Kawaguchi¹, Tsukasa Sera¹

¹ Department of Safety Management, Faculty of Societal Safety Sciences, Kansai University

Abstract

In recent years, dangerous bicycle driving becomes a social problem. The number of delivery services using bicycles increases under COVID-19, and the reckless driving of delivery bicycle was focused. Though cyclists in principle should drive their bicycles on the roadway, they often drive on the sidewalk, which causes collision accidents with pedestrians. In this study, a field work and an experiment using an eye-tracker on pedestrian recognition and avoidance of cyclists are conducted. A dynamics-based numerical simulation with a virtual spring model was also applied to a coexistent flow of a bicycle and pedestrians.

1 はじめに

近年、自動車の安全性能の向上により、自動車関連の交通事故件数は継続的に減少している。一方、自転車関連の交通事故件数は横ばい状態であり、交通事故全体に占める自転車関与率は高くなっている[1]。

自転車は車道を走行することが原則である(道路交通法第17条1項)。特別な場合に限って歩道走行が認められる(道路交通法第63条4項)が、これに当てはまらない場合も歩道を走行している自転車が多い。このため、歩道における自転車と歩行者の接触事故が少なくない。実際、au 損害保険株式会社の調査において、自転車関連事故の発生場所としては歩道が最も多いことが示されている[2]。

山中ら[3]は危険と感じる距離に対する認識について、歩行者と自転車運転者の間でずれが生じていることを示した。長谷部ら[4]は歩道上における歩行者と自転車

運転者がそれぞれ危険と感じる距離に関して実験および実地調査を行った。さらに歩行者に対して行ったアンケートの結果と合わせて、自転車運転者は歩行者と6 m以下に接近すれば回避行動を開始するべきであると提案した。鈴木ら[5]は自転車運転者の車道走行意識に関して分析した。その結果、車道を走行する自転車の台数や自転車の運転頻度、歩道幅などが車道走行するかどうかを決定する要因であることを示した。

本研究では、歩道上の自転車運転者が歩行者を回避し始める距離に関する実地調査を行った。また、歩道上を走行する自転車運転者の歩行者認識について、アイトラッカーを用いた実験を行った。さらに、歩道上において自転車と歩行者が混在する流れを再現する数値シミュレーションを試みた。力学ベース・モデルの一つである離散要素法[6]を用いて自転車および歩行者の個々の軌跡を追跡した。心理的な作用を表現するために仮想バネ[7]を適用した。

2 歩行者回避の実地調査

2.1 調査方法

歩道走行する自転車運転者が歩行者を回避する举动について実地調査を行った。アル・プラザ高槻(大阪府高槻市芥川町)の2階から幅4mの歩道の様子を撮影した動画をPCで再生し、回避行動を調べた。その際、歩道に敷かれている一辺30cmのタイルを目安として用いた。自転車が隣のタイルに移った位置を経路変更開始地点とし、そのときの自転車と回避対象歩行者との距離(回避開始距離)をタイルの枚数から求めた。

また、自転車が自由走行しているときの走行速度を求めた。タイル20枚分すなわち6mを走行するのに要する時間を動画のフレーム数より求め、その間の平均走行速度を計算した。

2.2 調査結果

自転車速度と回避開始距離の関係を図1に示す。ばらつきは大きいものの、自転車速度が速くなるにつれて回避開始距離が長くなる傾向を読み取ることができる。このことは直感的に妥当な結果であるとともに、長谷部ら[4]の計測結果とも定性的に一致している。

回避開始距離を歩行者の歩行方向別に整理したものを図2に示す。図2(a)は自転車と対向する歩行者とすれ違う際のものであり、図2(b)は自転車と同方向の歩行者を背後から追い越し際のものである。すれ違い時には6m以上の距離から回避行動を開始している。また、この場合の回避開始距離は自転車速度とほぼ無関係であることがわかる。一方、追い越し時には6m未満の近い距離まで回避行動を開始しないケースもあり、自転車速度が速いほど回避開始距離が長くなっている。

長谷部ら[4]も追い越し時よりもすれ違い時の方が回避開始距離が長くなることを指摘している。長谷部ら[4]は歩行者が対向する自転車に対して安全と感じる距離に関しての調査も行っており、90%以上の歩行者が安全と感じる距離の平均値が5.4mであったことから、自

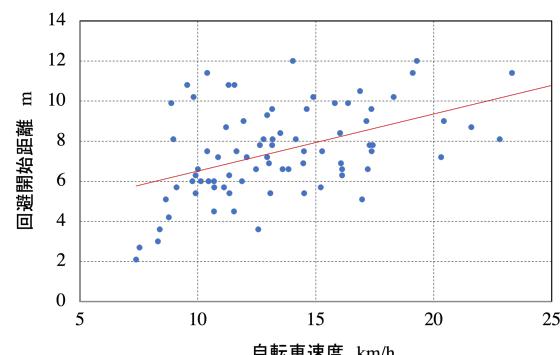
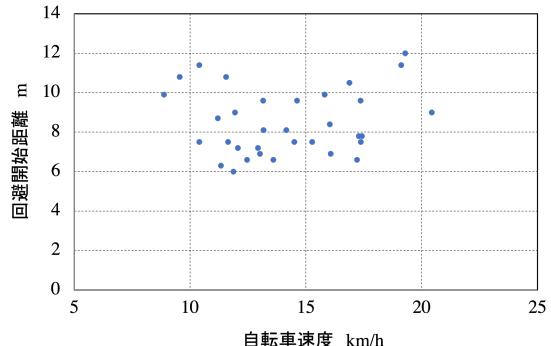
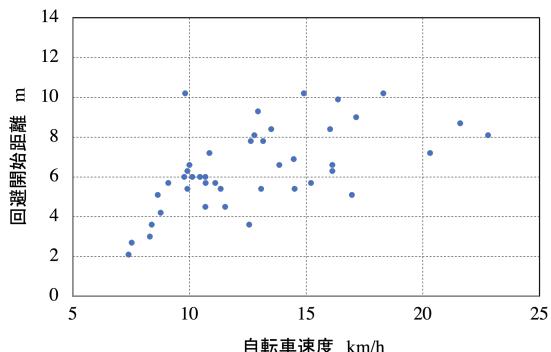


図1：自転車速度と回避開始距離の関係



(a) すれ違い時



(b) 追い越し時

図2：方向別回避開始距離

転車運転者の回避開始距離として6mを提案している。図2(a)はこの提案と一致した結果になっており、すれ違う際の回避開始距離に関しては、歩行者と自転車運転者の感覚が一致していることを表している。

3 アイトラッカーによる実験

3.1 実験方法

アイトラッカー(トピー・テクノロジー製 Tobii Pro Glasses 2)を用いて、自転車運転者の歩行者認識に関する実験を行った。アイトラッカーを装着して歩道を自転車で実際に走行するのは安全上の問題がある。そこで、あらかじめ自転車のハンドル部にアタッチメントを介してGoPro Hero 9を運転者の目の高さの位置に設置し、歩道走行する自転車運転者の視線の動画を撮影した。室内でアイトラッカーを装着し、固定された自転車にまたがった被験者にその動画を見せてことで視線計測を行った。被験者の頭の位置がぶれると、アイトラッカーによる計測精度が落ちるため、被験者には自転車を漕がずにまたがってもらった。映像は歩道幅1m, 2m, 3m, 4m, 5m, 10mの6種類の歩道に対して、それぞれ12km/h, 18km/hの2種類の自転車速度で走行する映像を用意した。どの映像においても100mの距離を走行する間に10名程度の歩行者が存在する。なお、自転車に搭載されているデジタル速度計の表示



図 3: アイトラッカーによる視線解析例

を参考に、ほぼ一定速度を保つようにした。

関西大学社会安全学部の学部生 20 名の被験者を対象に実験を行った。アイトラッカーによる映像は専用ソフトウェア(トビー・テクノロジー製 Tobii Pro ラボ)を用いて解析した。解析例を図 3 に示す。画面中央付近の赤い円の中心が現在の視点を示し、円の大きさでその場所の注視時間の長さを表す。また、視線がどこから移ってきたかを示す線も表示される。つまり、図 3 では右側から現在の視点に移ってきたことを意味する。

各歩道に対して、自転車運転者が歩行者を最初に認識したときの自転車と歩行者の距離(認識開始距離 L_R)を求めた。認識開始距離は、対象の歩行者に初めて図 3 の赤い円が表示されてから自転車の横を通過するまでにかかる時間(通過時間 t_P)から計算した。歩行者の歩行速度 v_W を 1.3 m/s と仮定し、上記の通過時間と自転車速度 v_B および歩行者の歩行速度から、以下の式で認識開始距離を求めた。

$$L_R = (v_B \pm v_W) \times t_P$$

自転車と同方向に歩いている歩行者(追い越し時)に対しては負号、逆方向の歩行者(すれ違い時)に対しては正号を用いる。

3.2 実験結果

図 4 に歩道幅と認識開始距離の関係を示す。歩道幅が広くなるにつれて認識開始距離が長くなる、すなわち遠くから歩行者を認識できるようになることがわかる。歩道幅が広くなることで見通しが良くなり、遠くの歩行者を認識できるようになることは自然な結果であると言える。一方、自転車速度が違っても認識開始距離にはほとんど差がないことがわかる。自転車がより速い速度で走行する場合には差が出る可能性はあるが、本研究で実施した 12 km/h と 18 km/h では 1.5 倍の違いがあるが、認識開始距離に明確な差は見られなかった。

2 節の実地調査で用いた歩道幅は 4 m であったことから、図 4 よりこの歩道では自転車運転者は 10 m 程度の距離から歩行者を認識すると考えられる。一方、図 1 より 12 km/h, 18 km/h の速度では回避開始距離がそれぞれ 7 m, 9 m 程度である。つまり、歩行者を認識してから自転車運転者が回避行動を取るまでにそれぞれ 3 m,

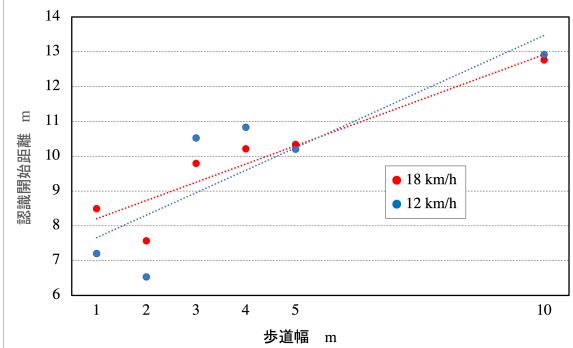


図 4: 歩道幅と歩行者認識距離の関係

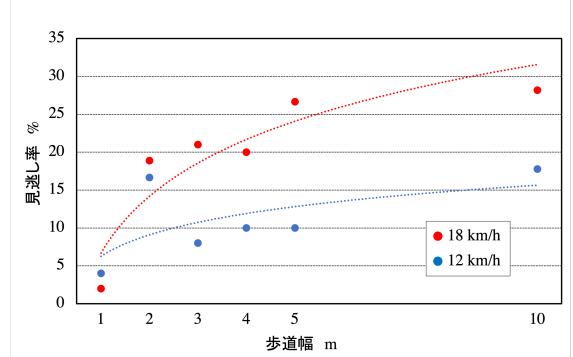


図 5: 自転車速度と見逃し率の関係

1 m の余裕しかない。自転車速度から時間を求めるとき、それぞれ 0.9 秒, 0.2 秒であり、進路変更に際して十分な安全確認を行えない可能性があると考えられる。

次に歩道走行する自転車運転者が見逃した歩行者の数を数え、全歩行者における割合(見逃し率)を求めた。結果を図 5 に示す。歩道幅が広いほど見逃し率が高くなっている。特に歩道幅が 1 m から 2 m に広がったときに見逃し率が大きく変化していることがわかる。また、自転車速度が 12 km/h のときに比べて 18 km/h の方が見逃し率が高くなっている。ここでは、アイトラッカーにおいて注視されなかった歩行者を「見逃し」と判断しているが、実際には注視されなかった歩行者も周辺視野で捉えられている可能性は高い。自転車運転者はあまり大きく顔や視線を動かさずに運転しようとする傾向があり、このために歩道幅が広いときに見逃し率が高くなると考えられる。自転車速度が速いときには、その傾向がより顕著に現れるものと思われる。

4 数値シミュレーション

4.1 モデル

実地調査とアイトラッカーの実験で得られた結果をもとに、自転車と歩行者が混在する流れに対する数値シミュレーションを行った。力学ベースモデルの 1 つである離散要素法(DEM)[6]を用いた。DEM では図 6 に示すように、物理的に接触した際に粒子間に作用する力

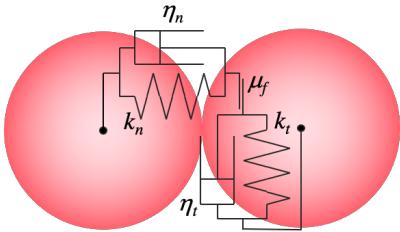


図 6: DEM 接触力モデル

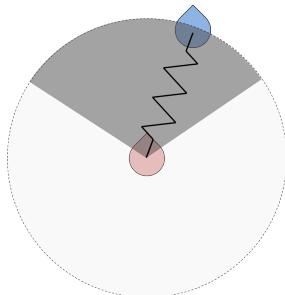


図 7: 仮想バネモデル

をバネ、ダッシュポット、スライダで表現する。バネは弾性反発力を表し、ダッシュポットは非弾性衝突によるエネルギー減衰を表現するための粘性減衰力を与える。スライダはすべり摩擦(動摩擦)を表す。

自転車運転者の回避行動を表現するために、仮想バネモデル[7]を導入した。図 7 に示すように扇形の影響範囲に他の歩行者が入ると、法線方向に仮想バネによる力を作用させる。これは心理的な作用を表す。なお、図 5 の物理的な力は作用・反作用の法則が成り立つが、図 6 の心理的な力は作用・反作用の法則は成り立たず、一方的な力である。つまり、図 7において、中央の赤色の粒子は青色の粒子の影響により、仮想バネによる心理的な力を受けるが、青色の粒子は背後にいる赤色の粒子からの力を受けない。

物理的および心理的な力の合力を粒子質量で割ることにより、加速度が得られる。これを数値的に時間で積分することにより粒子の速度が得られ、さらに時間で積分することで粒子位置が計算される。これを繰り返すことで粒子の軌跡を求める。

本モデルを用いて自転車と歩行者が混在する流れに対する数値シミュレーションを行った。計算領域は幅 4 m、長さ 100 m の歩道を想定した。領域内に 1 台の自転車(赤色粒子)と 10 人の歩行者(青色粒子)を配置した。自転車速度を 12 km/h とし、歩行者には ±0.5~1.0 m/s のランダムな速度を与えた。長さ方向には周期境界条件を適用した。

自転車と歩行者の初期配置を図 8 に示す。自転車の仮想バネの適用範囲はすれ違い時、追い越し時とも 6 m、 120° (片側 60°)とした。また、仮想バネのバネ定数は 2000 N/m とした。緑色の点は自転車の軌跡を表す。歩行者を避けながら歩道上を走行している様子が表現されている。高速で自転車を運転する実験を実施することは安全性の観点から難しいが、本モデルによる数値シミュレーションを活用することで詳細な検討が可能になるものと期待される。

5 まとめ

歩道上の自転車運転者の歩行者回避開始距離を実地調査したところ、対向者とのすれ違い時には自転車速度に関わらず 6 m 以上の距離を保つことがわかった。一方、追い越し時に自転車速度が速くなるほど回避開始距離は長くなった。

また、アイトラッカーによる実験を行った結果、歩道幅が広いほど自転車運転者は遠くから歩行者を認識することがわかった。しかし、本実験の範囲では自転車速度の影響は確認できなかった。

離散要素法に仮想バネを組み込んだモデルによる数値シミュレーションを行ったところ、自転車と歩行者が混在する流れをおおむね再現することができた。

なお、本研究は関西大学社会安全学部研究倫理委員会の審査を受けたものである。

参考文献

- [1] 警視庁ホームページ,
https://www.keishicho.metro.tokyo.lg.jp/about_mpd/jokyo_tokei/tokei_jokyo/bicycle.html (2022 年 12 月 3 日確認).
- [2] PR TIMES 2020 年 3 月 26 日,
<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000075.000005870.html> (2022 年 12 月 3 日確認).
- [3] 山中英生ら, 第 19 回交通工学研究発表会論文報告集 (1999) 193.
- [4] 長谷部知行ら, 土木計画学研究論文集 **26-4** (2009) 791.
- [5] 鈴木雄ら, 交通工学論文集 **1-2** (2015) A_40.
- [6] P.A.Cundall, O.D.L.Strack, Geotechnique **29-1** (1979) 47.
- [7] 川口寿裕, 第 20 回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集 (2014) 83.

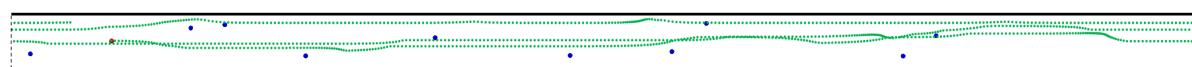


図 8: 計算結果例