

日没後における自転車乗車中の 歩行者追い越し挙動に関する研究

河村 拓¹・鈴木 美緒²・屋井 鉄雄³

¹学生会員 東京工業大学大学院 環境・社会理工学院 土木・環境工学科 都市・環境学コース
(〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町4259)

E-mail:kawamura.t.ai@m.titech.ac.jp

²正会員 東京大学生産技術研究所 人間・社会系部門 (第5部)
(〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

E-mail: mioszk@iis.u-tokyo.ac.jp

³正会員 東京工業大学大学院 環境・社会理工学院 土木・環境工学科 都市・環境学コース
(〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町4259)

E-mail: tyai@enveng.titech.ac.jp

自転車の需要は増加の一途を辿っており、日没後においても利用が増加している。日没後は視認性の低下から重大な事故につながるリスクが高まるが、道路照明は自転車を考慮して設計されていないなど、自転車の日没後の走行について十分に検討されていない。そこで本研究では日没後の自転車走行に関するヒヤリハット体験についてのアンケートを行い、危険になりやすい歩行者の追い越し挙動について実走実験を行った。その結果、細街路では歩行者の位置によらず同じ距離感で歩行者を発見できるのに対し、歩道では照明と歩行者の位置関係で視認距離に差が生じていることが明らかになった。

Key Words : bicycle, nighttime, sidewalk, visibility, passing behavior

1. 序論

近年、健康や環境への関心から自転車利用は世界的に増加しており、平成29年6月に「自転車活用推進法」が施行される。その中でも震災等を契機にした自転車通勤の増加により、日没後の自転車利用が増えており、今後ますますの増加が見込まれる。しかしながら、視認性が低下する日没後においては重傷事故や死亡事故につながりやすくなり、実際に日没後の自転車事故件数は比較的多い¹⁾。このような現状から、日没後の自転車走行は今後の自転車施策の重要項目のひとつになると考えられるが、「道路照明施設設置基準²⁾」(国土交通省)では、自転車については考慮されておらず、歩行者、自動車のみが対象となっている。日没後の自転車乗用中の事故を防ぐためには、自転車に対する夜間環境の検討が必要であると考えられる。

そこで、本研究では、自転車に配慮した照明環境等、日没後の自転車乗用環境の安全性向上に資するべく、日没後の自転車走行の危険事象を把握するためにアンケート調査を行った上で、実走実験より照明の当たり方や個人の視覚能力による日没後の自転車乗車中の視認性の差異を明らかにすることを目的とする。

2. 既往研究の整理と本研究の位置付け

日没後の自転車走行挙動分析を行っている研究としては浅田ら³⁾の研究がある。一般的な細街路において、平均路面照度が夜間の自転車走行速度、運転者の視線挙動、障害物の回避行動に及ぼす影響を明らかにしている。しかし、道路の違いは平均路面照度のみで留まっており、障害物に対する照明の当たり方までは考慮されていない。また、夜間の照明環境に焦点を充てた研究は高久ら⁴⁾など多数存在するものの、対象は自動車か歩行者であり、自転車を対象としたものはない。

そこで、本研究では歩行者への照明の当たり方の違いによる自転車運転者の視認特性や走行挙動について分析を行った。

3. 日没後における自転車走行の実態把握

(1) アンケート概要

日没後の自転車走行の現状把握と危険な状況の抽出を目的としてアンケート調査を行った。アンケートの概要を表1に示す。

(2) 日没後における自転車利用の実態

本調査はイベント時に実施したこともあり、有効

サンプルの性別は男性が33%、女性が67%となり、女性に偏りができた。また、60歳以上の割合が約5割を占めており高齢者が多くなっている。

昼間と日没後の利用回数を比較すると、普段自転車を利用する人の70%は日没後においても自転車を利用する機会があることがわかった。また、昼間よりも日没後の方が自転車を利用する機会が多い、あるいは昼間と日没後で自転車を利用する機会が変わらないという回答は合わせて35%程度であり、日没後においても自転車利用の需要が一定数あるということがわかった。高齢者と非高齢者を比較する(図2)と高齢者の方が有意に日没後に自転車利用が減る($\chi^2=13.2$, $df=6$, $p=0.03$)という結果を得た。つまり、高齢者は視力の低下等を理由に視認性が著しく落ちる日没後において自転車利用を控えている傾向が見て取れた。

また、日没後の自転車に関するヒヤリハット体験の結果を図3に示す。歩行者、自転車、自動車のすべての目線からヒヤリハット体験が多かったのは「急な飛び出し」、「速度の出しすぎ」、「無灯火で走る自転車」の項目であり、主に法令違反となる項目が全体の上位となる結果となった。

表 1 アンケート概要

日時	2016/11/12(土)10:00~16:00 2016/11/13(日)10:00~16:00
場所と対象者	台東区生涯学習センター ※イベント：環境（エコ）フェスタ たいとう 2016 の来場者
有効回答数	158
設問	①性別 ②年齢 ③普段の自転車利用頻度 ④昼夜の自転車利用割合 ⑤日没後の自転車利用目的 ⑥日没後に自転車に乗らない理由 ⑦日没後の自転車に関するヒヤリハット体験
回答方法	①~⑥選択式,⑦自由記述

日没後の自転車利用頻度(N=131)

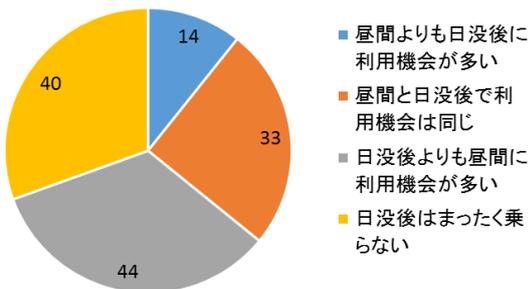


図 1 日没後の自転車利用頻度

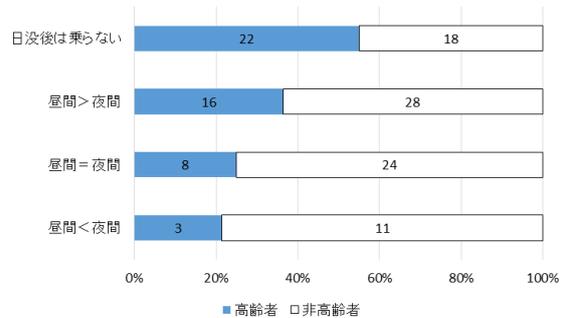


図 2 高齢者と非高齢者の日没後の自転車利用

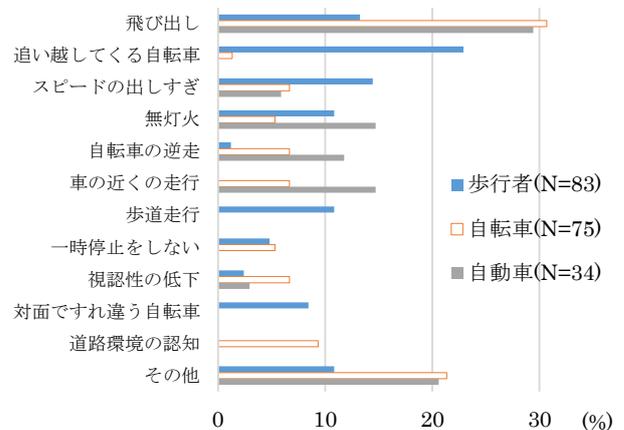


図 3 日没後の自転車に関するヒヤリハット体験

交通手段別に見てみると、歩行者は先に挙げたものの以外に「追い越してくる自転車」、「歩道走行」、「対面ですれ違う自転車」が多くなっており、いずれも歩いている近くを自転車で通過されたときにヒヤリハット体験をしていることがわかった。また、「歩道を歩いているときに追い越してくる自転車」のような組み合わせた回答もみられた。自転車乗車中の場合は「自転車の逆走」、「車の近くの走行」、「視認性の低下」、「道路環境の認知」が多くなっており、見えづらさが要因となるものが多い。一方で歩行者において多かった歩行者が自転車を追い越すという状況をヒヤリハット体験として挙げた回答はなく、歩行者の追い越しは自転車運転者から見ると危険という意識があまりなく、歩行者と自転車運転者の間で意識や認識の違いがあることがうかがえた。自動車運転者についてはサンプル数が少ないが、「自転車の逆走」、「車の近くの走行」に危険を感じている場合が多くなっている。

(3) 夜間の危険事象実験シナリオの選定

前節の内容をふまえ、ヒヤリハット体験が多く、事故の危険性が高まる「歩道での歩行者の追い越し」を実験のシナリオとして設定し回避挙動分析を行うこととした。また、実験の被験者としては日没後の自転車利用が比較的多かった非高齢者を対象とすることとした。

4. 実験に基づく歩行者追い越し挙動分析

(1) 実走実験概要

a) 実験環境

日没後の道路環境や照明の当たり方の違いによる歩行者追い越し挙動の差異を把握すること、日没後の自転車乗車中の視認性に関する個人差の要因を抽出することを目的として、実走実験を行った。

実験区間は、東急田園都市線すずかけ台駅（東京都町田市）周辺で、歩道と細街路を1箇所ずつ選定した。区間の選定においては、街路灯が一定間隔で配置されていること、勾配がないこと、交通量が少ないことを条件とした。歩行者への照明の当たり方、歩行者の服装を変えた状態での視認挙動や回避挙動について検討するため、図5の3種類の位置に歩行者をその場足踏みで立たせた。歩道についてはそれぞれの立ち位置で黒服と白服の計6パターン、細街路は黒服のみの3パターン、合計9パターンの走行挙動を分析した。なお、本研究において、「最暗部」は歩行者に照明が当たらない地点、「シルエット視」は歩行者の前面に照明が当たり、自転車運転者から歩行者の影が見える地点、「逆シルエット視」は歩行者の後面に照明が当たり、自転車運転者から歩行者の影が見えない地点と定義する。

被験者は 20 名（全て学生，平均年齢：22.1±1.21 歳，男：女=14：6）であり。視力に関することとして夜盲症など過去に目に関する病気を患ったことがないことをアンケートから確認しており，色覚についてもカラーテストを実施して異常がないことを確認している。視力は裸眼，矯正について問わず，無差別である。また，被験者の中に実験箇所を日常的に用いている人はおらず，走行箇所における慣れは存在しない。被験者の自転車運転能力に関して，全員が大きなふらつきなく自転車に乗ることができることを確認した上で実験を行った。

実験は平成 28 年 12 月から平成 29 年 1 月の完全に日が沈んだ 17 時から 21 時の時間帯に実施した。また，実験日はいずれも晴れまたは曇りの日で，路面が濡れていない状態で行った。

b) 取得データ

取得データは，走行中のデータとして，速度（1s 間隔），視線挙動，視認距離，回避から追い越すまでの経過時間とした。なお，視認地点についてはアイマークレコーダーの映像より0.15秒以上運転者が歩行者を注視した点とし，回避開始点は歩行者を認知してから歩行者を追い越すためにハンドルを切った点とした。また，被験者の視力の能力として，視力，対比（コントラスト）視力，深視力の測定を行った。図7は本実験で用いた対比視力表でありコントラストの異なる3組のランドルト環のグループで構成される。コントラストは大きい方から96%，24%，6%である。それぞれの組は13個の大きさの異なるランドルト環から成る。それぞれ大きい方から小さい方へレベル0～12となっている。本実験では検査



図 4 実験区間と各地点の照度



図 5 実験場所（左：歩道，右：細街路）

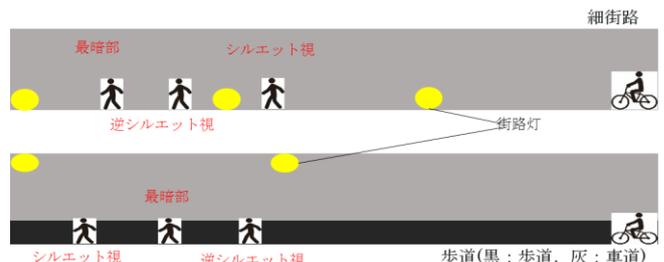


図 6 歩行者の立ち位置

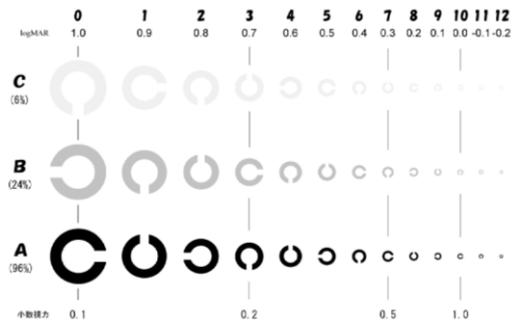


図 7 対比視力表

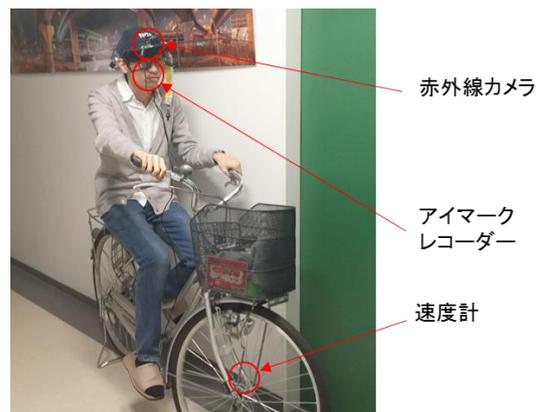


図 8 実走実験自転車

距離は 3m で右目と左目を交互にコントラストが大きい方から小さい方へと検査を行った。スコアは正解した指標の合計数で表す。

c) 実験の流れ

まず、被験者に実験の説明と事前アンケートを行う。事前アンケートの内容は性別、年齢、自転車利用頻度、目の病気の有無、実験日の体調、目の使用具合である。その後被験者の視力の能力を調べるため、対比（コントラスト）視力検査、深視力検査、色覚テストを行った。そして、アイマークレコーダーのキャリブレーションをしたのち、走行区間に慣れるために歩道、細街路それぞれで下見走行を行わせた。本実験では、被験者に 9 パターンを走行させた。なお、走行順は被験者ごとにランダムとした。走行が終了したのち、走行後の状態や歩行者の認識方法についてヒアリングを行い、実験を終了とした。

(2) 実走実験結果

以下、走行パターンについては表2の通りとする。

a) 各走行パターンでの速度

運転者が回避を始めた瞬間の速度と歩行者とすれ違った瞬間の速度についてデータに欠損がなかった 14名で分析を行った結果を図9に示す。

細街路では歩行者がどこに立っていても回避開始時とすれ違い時の速度にほぼ差が生じなかった。これは細街路では歩行者から十分に距離を取り、速度を落とさずにすれ違えるためと考えられる。一方、歩道では幅員が限られるため全体的にすれ違い時に速度が低下しており、その低下幅は、歩行者の服装による差はないが、立ち位置により異なり、シルエット視、最暗部、逆シルエット視の順に大きくなった。歩行者の立ち位置の照度が小さいほど、慎重に回避するため速度の低下が大きくなると予想されたが、結果はシルエット視の方が最暗部より速度を落とす結果となった。回避を始めてからすれ違うまでには、個人差はあるが10~20m程度の走行をするため、この区間の明るさが速度の低下の要因となっているものと考えられる。実際に各地点の10m手前の地点の水平路面照度は、シルエット視：0.8lx、逆シルエット視：2.0lx、最暗部：1.5lxとなっており、速度の低下幅の大きい順番と合致している。つまり歩道における速度の低下幅は、歩行者が立っている地点から10m程度手前までの道路の明るさが関わっていると考えられる。

また、本実験においては細街路の平均走行速度が歩道よりも速くなった($t=-2.34, df=13, p=0.028$)。

b) 各走行パターンでの視認挙動

アイマークレコーダーのデータに欠損がなかった 13名のデータで分析を行った。歩行者発見時の歩行者との距離を図10に示す。

歩行者が黒服を着用している状態では、歩道でも細街路でも歩行者の約30m手前から視認できることがわかった。歩行者の立ち位置による視認距離の差異に着目すると、細街路では歩行者の立ち位置によ

表 2 走行パターン

番号	走行箇所	歩行者立ち位置	歩行者服装
1	歩道	シルエット視	黒
2	歩道	逆シルエット視	黒
3	歩道	最暗部	黒
4	歩道	シルエット視	白
5	歩道	逆シルエット視	白
6	歩道	最暗部	白
7	細街路	シルエット視	黒
8	細街路	逆シルエット視	黒
9	細街路	最暗部	黒

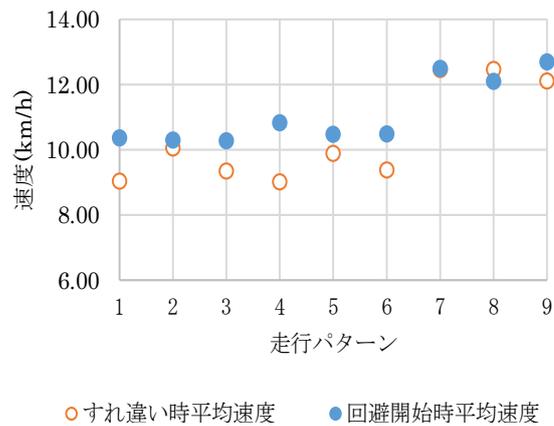


図9 各走行パターンの平均速度

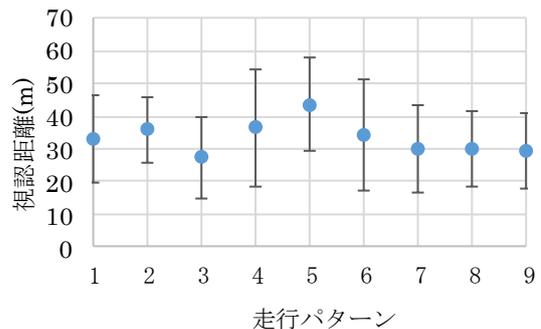


図10 各走行パターンの視認距離

らずに一定の距離感で発見ができるという結果を得た。歩行者は基本的に停留しておらず、移動していることを考えると、歩行者がどこにいても発見する距離が安定しているのが安全性が高いといえるだろう。一方、歩道においては走行パターンごとに視認距離が異なった。歩行者の立ち位置に着目すると、照度が大きい場所に歩行者が立つほど視認距離が大きくなった。また、服装では黒服よりも白服の場合により早く歩行者を発見できることがわかった。走行中の視線挙動については、細街路と歩道で異なる傾向を示した。細街路では路面のみならず周辺の住宅など広い箇所を注視する傾向にあるが、歩道で

は路面の注視が大部分を占め、表3の通り、路面以外を注視した回数には大きな差が生じた ($t=-4.30$, $df=9$, $p=0.002$)。特に、歩道では自転車に近い部分の路面を注視しやすい傾向にあった。歩道では幅員が狭く走行の余裕がないことや、街路樹により影ができて視認性が低下するためと考えられるが、路面ばかりを注視して交差点や駐車場などから進入してくる自動車や歩行者を見落とすおそれがあり危険な走行につながりやすくなる恐れがある。

c) 各走行パターンでの回避挙動

データの欠損がなかった19名のデータで分析を行った。回避開始からすれ違うまでの時間を図12に示す。

細街路よりも歩道の方がすれ違うまでの時間が長いことがわかる。これは、歩道では幅員に限りがあるので歩行者の近くを通過して回避をする必要が生じ、慎重に回避を行っているためと推察される。また、歩道について歩行者の立ち位置や服装による差異は前項の視認距離と同様の傾向を示しており、歩行者を早く視認するほど回避を始めるのも早くなる傾向が示された。



図 11 注視箇所イメージ

表 3 路面以外を注視した回数

	歩道	細街路
路面以外を注視した回数の平均 (回)	3.8	6.1
標準偏差	1.40	2.48
平均走行時間 (s)	42.91	42.27

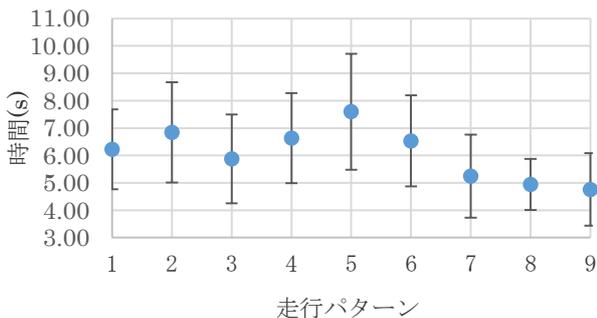


図12 各走行パターンの回避開始からすれ違うまでの時間

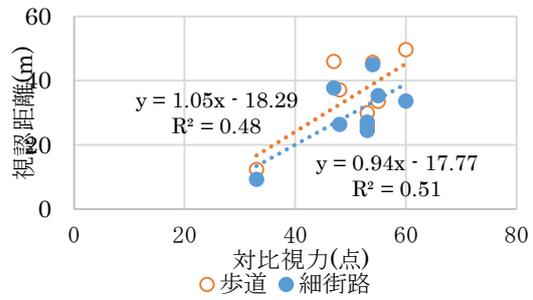


図 13 対比視力と視認距離の関係

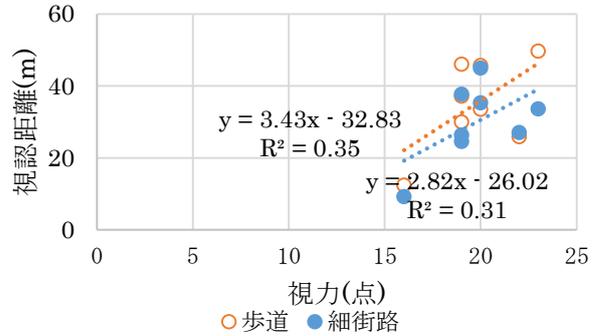


図 14 視力と視認距離の関係

d) 見え方の個人差

対比視力と深視力、視力が歩行者の視認に関わりをもつかを検討した。深視力については視認距離や回避開始距離との相関はなかったが、図13が示すように対比視力と視認距離については決定係数が歩道で0.48、細街路で0.51となり、日没後において歩行者の視認に関する個人差は対比視力が影響する可能性があることが明らかになった。また、単純な視力と視認距離は図14が示す通り、決定係数が0.3程度となり日没後においては単純な視力よりもコントラスト視力が視認距離に影響を与えやすい可能性がある。

(3) 実走実験まとめ

実走実験から以下のことが得られた。

- ・歩道においてすれ違い時の速度は歩行者の立ち位置による差異はあるが、歩行者の服装による差異はない
- ・歩道において、視認距離は個人差が大きいものの、逆シルエット視、最暗部、シルエット視の順で大きくなる。また黒服よりも白服の方が早く視認される。
- ・細街路において、視認してからすれ違うまでの時間は個人でのばらつきが少なく、歩行者の立ち位置にも大きく左右されずに安定した距離感から発見される。
- ・自転車運転者は歩道では路面のみを注視する傾向にあるのに対し、細街路では周辺住宅など広く注視する傾向にある。
- ・歩道でも細街路でも対比視力と視認距離には一定

の相関関係がある。

5. まとめと今後の課題

本研究では、照明と歩行者の位置関係や歩行者の服装を変えて歩道と細街路、それぞれの視認挙動や走行挙動を分析した。その結果、歩行者の立ち位置によって視認距離が変化し、路面の注視が多くなる歩道での走行は事故につながる危険性が高くなることが示唆された。

本研究では、歩道と細街路1つずつの限られた照明環境での実験に留まっているので、今後は条件の異なる道路での実験やCSの開発を通して、日没後の自転車利用者にとって安全となる環境づくりを目指すことが考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省, 道路照明設置基準, 2007
- 2) ITARDA 第 15 回研究発表会資料, 自転車と歩行者の交通事故の実態
- 3) 浅田拓海, 谷下雅義: 夜間の路面照度が自転車走行挙動に及ぼす影響, 土木計画学学会・講演集, 2016
- 4) 高久洋介, 柳瀬亮太: 夜間街路の歩行環境における街路灯の色温度の配置に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文集台, 2009
- 5) Mio SUZUKI, Kei MIYANOUE, Tsuyoshi TAKAGAWA and Tetsuo YAI: Development of Bicycling Simulator for Analysis of Traffic Safety and Flow, The 13th WCTR, 2013.