

高齢者に対する自転車追越し挙動と危険感に関する分析

松本修一¹・上田正史²・櫻井淳³・米沢海斗²・川合康央⁴・山中英生⁵

1正会員 文教大学准教授 情報学部 情報社会学科 (〒253-8550 神奈川県茅ヶ崎市行谷1100)

E-mail: shuichi@bunkyo.ac.jp

2非会員 文教大学 情報学部 情報社会学科 (〒253-8550 神奈川県茅ヶ崎市行谷1100)

E-mail: {b8p41009, b8p41101}@bunkyo.ac.jp

3正会員 文教大学専任講師 情報学部 情報システム学科 (〒253-8550 神奈川県茅ヶ崎市行谷1100)

4正会員 文教大学教授 情報学部 情報システム学科 (〒253-8550 神奈川県茅ヶ崎市行谷1100)

5正会員 徳島大学大学院教授 社会産業理工学研究部 (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)

交通事故の件数が減少している中、自転車関連事故は全体の約20%前後で横ばい傾向が続いている。また、自転車の運転中に死亡した人の中で、65歳以上の人は約70%を占めている。国内において自転車利用者が車道走行する際の危険感確保の視点からの評価に関して十分な研究が少ないことが指摘されている。本研究では、単路部における自動車の自転車に対する追越し挙動をプローブ自転車を用いて、自動車の挙動および自転車の危険感に関して高齢者、若年者を対象にデータ収集を行った。その結果、対向車との距離が長くなるに従い、追越し車両の離隔距離および速度が大きくなる傾向にあること、若年者の場合、離隔距離が広くなると危険感を感じないが、高齢者の場合、離隔距離に依存せず危険感を感じる傾向にあること等が分かった。

Key Words : Probe Bicycle, Passing Distance, Traffic Safety, Overtaking maneuvers

1. はじめに

わが国では近年、自転車の需要や自転車通行帯整備の重要性が高まっており、「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」に基づき、道路交通環境の整備や、各自治体の道路整備計画が推進されている¹⁾²⁾。また、新型コロナウイルスの感染拡大の影響により、人と人との接触を低減する蔓延防止策として、厚生労働省が自転車での移動を推奨している。この方針を受け国土交通省は、矢羽根の設置や自転車専用通行帯の整備、自転車通勤制度の導入等と呼びかけ、自転車の走行環境の整備に向けた各種取り組みを加速させている³⁾⁴⁾。その一方、警察庁の集計⁵⁾によると、交通事故の事故件数が減少傾向であるのに対し、自転車関連事故は全体の約20%前後で横ばい傾向が続いている。欧州においても交通事故の総件数は減少中であるが、自転車関連事故の減少幅が低いことが指摘されており⁶⁾、国内外問わず自転車関連の交通事故に対する対策が急務である。

また、前述の警察庁の集計によると国内では自転車の

運転中に死亡した人の中で、65歳以上の人は約70%を占めており、今後の免許返納等で高齢者の自転車利用が増える可能性を鑑みると、高齢者の自転車利用者に対する交通安全の対策に資する研究は重要であると考えられる。

このような状況下で、鈴木ら⁷⁾は自転車レーン整備等で高齢者の影響要因が大きいことを踏まえ、「高齢者の自転車利用者に対してより詳細な挙動を把握する」ことの重要性を指摘している。また、山中ら⁸⁾は、国内において自転車利用者が車道走行する際の危険感の視点からの評価に関して十分な研究はないこと、また、多様な属性による街路区間別での評価結果との整合性の検討が必要であると指摘している。

本研究では、これらの動向を踏まえ、山中らの研究⁸⁾および水尻らの研究⁹⁾を参考に自転車と自動車のリスク評価が可能なプローブ自転車を開発すると共に、単路部における自動車の自転車に対する追越し挙動および自転車利用者の危険感に関する特性を把握することを目的とする。

2. 既存研究のレビュー

自転車の追越しに関する研究は、近年の IT 化や電子デバイスの低廉化等に伴い自転車にビデオカメラや超音波センサー等の計測機材を搭載した所謂プローブ自転車を活用した事例が増えている。

プローブ自転車を用いた自動車の追越し挙動や自転車の安全性に関する国内の研究に関して、山中ら⁸⁾は、プローブ自転車を用いて自動車が自転車を追越す際の速度と離隔幅を計測し、自転車乗用者の危険感を 7 件法で発声して IC レコーダーに録音したデータ等をもとに、自転車走行時の危険感評価指標を提案した。

また、原澤ら¹⁰⁾は自転車通行空間の特性が与える効果を明らかにするために、自転車走行空間を 20 種類に類型化し、都内の 13 種類の道路においてプローブ自転車を活用した走行調査を行った。その結果、1m 以上のカラー舗装と矢羽根があることで、同じ離隔距離や速度の場合と比較して、自転車利用者の安全感が高まることを明らかにした。しかし、プローブ自転車での自動車の計測率が 70.7%と計測漏れが多いこと、個人・個体差を考慮することを課題として挙げている。

水尻らの研究⁹⁾では、自転車の追越し時の自動車の速度と離隔距離を 3 台のカメラを搭載した自転車で計測し、その道路をシミュレーション上に模擬し実走と DS での比較などを行った。この研究では、DS と実走での離隔距離に有意な差がなく、DS のデータをもとに離隔距離の要因分析を行った結果、シミュレーション上では、対向車線に車両がいる場合、離隔距離が明確に小さくなるなどの知見が得られている。また、松本らの研究¹¹⁾では、自転車追越しに関わる安全性と円滑性に及ぼす影響を明らかにするため、水尻らと同じ自転車を川口市内 7 路線の道路を対象に走行調査を行い、自動車の速度、加減速度、離隔距離、道路幅員等のデータを収集した。そして、山中らの安全性評価指標⁸⁾をもとに、速度制限 40km/h 以下かつ 1.5m 程度の路肩幅員となる道路では、円滑性・安全性の両面で優れているとの結論を得ている。また、この研究では、今後狭隘な道路を含む様々な道路での追越しデータの蓄積が必要であると指摘している。

海外では、自転車に対する自動車の離隔距離や追越し挙動に関する研究が多くなされており、Walker¹²⁾の研究では、超音波センサーを自転車に搭載し、自動車との離隔距離に関してヘルメットの有無、女性と男性、自転車の走行位置等での比較を行い、自動車ドライバが自転車利用者の外見に対して敏感に反応することを指摘している。また、Chuang et al.の研究¹³⁾では、超音波センサー、3 軸加速度センサー等を搭載したプローブ自転車を用いて、自動車の自転車追越し時の離隔距離に関するデータを収集した。この研究では、1. 離隔距離に関しては、

車種、性差、路面状況等で差があること、2. 追越し時の速度は、自転車レーンの有無など道路構造の要因では差があるが、車種や性差では差がないとの結果を得ており、Walker の研究を支持している。その一方、Love et al.の研究¹⁴⁾では、メリーランド州において、男性 4 名、女性 1 名のモニターを対象に、カメラを搭載した自転車を用いて、離隔距離を計測する実験を行った。この研究では、1. 車線幅員が広がる程、離隔距離が広がる、2. 自転車レーンがある区間では、離隔距離が広がる等の結果を得ている。また、女性と男性のモニター間の比較では、3 フィート以下の離隔距離をとる自動車の割合が、女性に対しては少ないことを指摘しているが、性差で離隔距離があるか否かに関しては、決定的な結論が出せないとして述べている。また、Schakel and Parkin の研究¹⁵⁾では、超音波センサーおよびカメラを搭載したプローブ自転車を活用して、時速 20 マイルと 30 マイルの道路において、自動車の追越し時の離隔距離と速度の計測実験を行い、道路構造と自動車の要因を分析した。この結果、サイクルレーンが離隔距離と追越し速度に与える影響がない可能性に言及している。

これらプローブ自転車を活用した離隔距離の研究では、道路構造や利用者属性等をもとに離隔距離の要因を探る研究が数多くなされているが、決定的な結論が出ていない要因が数多く存在することが指摘されている¹⁶⁾。そのような中、近年では道路構造の要因、自動車の要因のみではなく、自転車利用者の危険感等の心理的要因を加味した研究もみられるようになってきている。Beck et al.¹⁷⁾は、プローブ自転車に危険に感じた際の状況を報告する機能を付加し、自転車追越し時の離隔距離に関して、平均年齢 39.3 歳の被験者に対して不安に感じた追越し時の離隔距離のデータと不安に感じなかった追越し時の離隔距離のデータを収集した。この研究では、18,527 件の離隔距離のデータから危険に感じた際の離隔距離の平均が 98cm、危険に感じなかった時の離隔距離の平均が 174cm になるとの結果を報告している。また、Rasch et al.¹⁸⁾は、追越し時の自転車の安全性を考える際に、自転車および自動車の両者の危険感を加味することが重要であると指摘しており、危険感に関するデータを収集可能なデバイスをプローブ自転車に搭載して、20~50 代の被験者を対象にデータ収集を行った。

一般的に自転車の利用者に関しては、若年者から高齢者まで幅広く存在する。これまでの研究では、高齢者に対する知見が含まれている研究事例が少なく、今後の高齢化社会における自転車走行環境の整備に向け、高齢者、若年者での離隔距離や自転車利用者の危険感の傾向を把握することとした。

3. プローブ自転車の性能検証

本研究では、水尻らの研究⁹⁾等を参考に超音波センサーおよびカメラ等を備えたプローブ自転車を作成した(図-1参照)。プローブ自転車の性能検証に関する知見は、歩道橋から定点カメラで撮影したデータを活用した水尻らの研究があるが、これまでの研究知見が少なく、原澤ら¹⁰⁾は、「プローブバイクの計測精度を上げる」ことの重要性を指摘している。そこで、実験を行う前にプローブ自転車で収集するデータの精度に関する検証を行った。具体的には、クルーズコントロールを用いて30km/hで等速走行する自動車でプローブ自転車を追越す実験を行い、追越し時の離隔距離および自動車の速度を算出した。なお、自動車の速度に関しては、自転車に搭載したカメラを用い、自転車の前後3mの距離を通過する時間を計測し、その時間差をもとに式1のように計算した。ここで、 v_{car} を自動車の速度、 v_{bike} を自転車の速度、 t_{front} を前カメラの計測時刻、 t_{rear} を後カメラの計測時刻とする。追越し時のデータ数は20サンプルである。

これらの結果を図-2、図-3に示す。これらの結果から平均速度は誤差5.5%、離隔距離に関しては誤差6.6%となった。

$$v_{car} = \frac{6.91}{t_{front} - t_{rear}} \times 3.6 + v_{bike} \quad (1)$$

4. 実験概要

本研究では、神奈川県寒川町にある県道47号線においてデータ収集を行った。実験場所は、道路幅員7.6m、規制速度40km/hの片側1車線の直線区間で道路延長約600mの範囲とした。この道路における実験時の時間交通量は248台であった。また、当該道路の様子を図-4に示す。実験は、2021年11月17日～12月22日の期間で実施した。被験者は、学生が男性8名、女性2名の10名(平均年齢21.6才、標準偏差0.52才)、高齢者が男性7名、女性3名(平均年齢76.4才、標準偏差4.45才)である。被験者に対しては、実験開始前のインフォームドコンセントにおいて、全実験参加者に対し、1) 実験により生じる実験参加者への不利益、2) プライバシーへの配慮、3) 実験に参加しない自由の確保に関して十分な説明を行い、実験に参加することの同意を得た。実験の所要時間は、一人当たり実走実験で約30分程度であった。実験では、各被験者に対して、1名20回の追越しを経験するまで実験を行い、各追越し時に0～3までの4段階(0:安全, 1:やや危険, 2:危険, 3:非常に危険)で危険感を回答する方法とした。本実験での追越し回数は、学生、高齢者それぞれ200サンプル、計400サンプルである。



図-1 プローブ自転車の概要

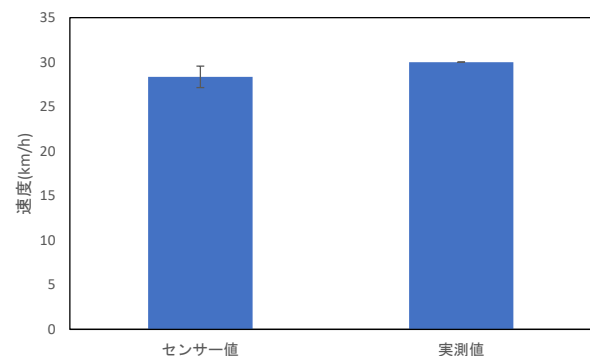


図-2 追越し時の速度

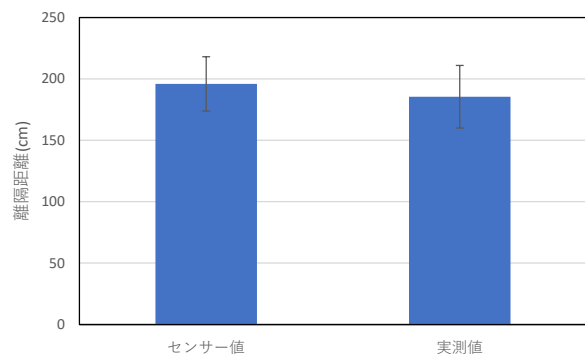


図-3 追越し時の離隔距離



図-4 実験場所

片側1車線の道路において、自転車を自動車が追越す場合、対向車線の車両の影響が大きく影響することは、多くの研究で指摘されている¹⁹⁾。そこで、Shackel and Parkinの研究¹⁵⁾を参考に追越し車両と対向車線を走る車両の関係性を確認する方法として、対向車両が自転車の側方を通過した後、追越し車両が自転車の側方を通過するまでの時間の差分を5秒以上、5～2秒、2秒以下の3種類に分類して集計を行った。

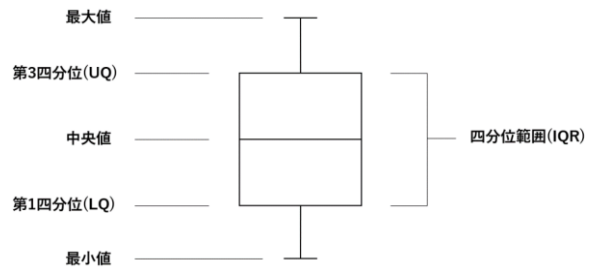


図-5 箱ひげ図の判例

5. 結果・考察

本研究での箱ひげ図は、図-5のように定義している。また、特別な記載がない場合、1 要因分散分析および Tukey 法の多重比較を行った結果である。また、図中の「†」は10%有意傾向、「**」は1%有意、「*」は5%有意とした。

(1) 離隔距離

まず、学生および高齢者の離隔距離に関する結果を図-6、7に示す。離隔距離に関しては、対向車との関係性の主効果は学生が $F(199)=28.38, p<0.01$ 、高齢者が $F(199)=7.98, p<0.001$ とともに有意な差があった。これらの結果から、学生、高齢者ともに自転車を追越す際、対向車両との時間差が長くなればなる程、離隔距離が大きくなる傾向にあることが分かる。

(2) 追越し速度

次に、追越し速度に関する結果を図-8、9として示す。対向車両との主効果に関しては、離隔距離同様追越し車両との関係性の主効果は学生が $F(199)=5.65, p<0.005$ 、高齢者が $F(199)=14.87, p<0.05$ とともに有意な差があった。

(3) 危険感と離隔距離の関係

Beck et al.の研究¹⁷⁾では、危険感と離隔距離に関する研究の結果、危険感を感じる追越しの離隔距離が、危険感を感じない離隔距離と比べて短くなるという結果を得ている。山中らの研究⁸⁾においても、離隔距離が短い追越しになる程、危険感が大きくなることが指摘されている。

本研究では、これまで知見が少なかった学生と高齢者における追越し速度と離隔距離、危険感の有無に関する関係を散布図で集計した(図-10、11参照)。これらの図から学生に対しては、Beck et al.¹⁷⁾の指摘と同様に離隔距離が狭くなると危険に感じる傾向が高い見られるが、高齢者に関しては離隔距離に依存せず離隔距離が長い場合でも危険感を感じる事が分かる。

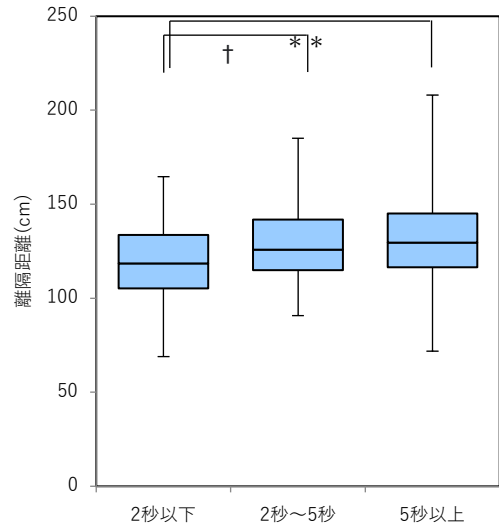


図-6 対向車と離隔距離の関係 (学生)

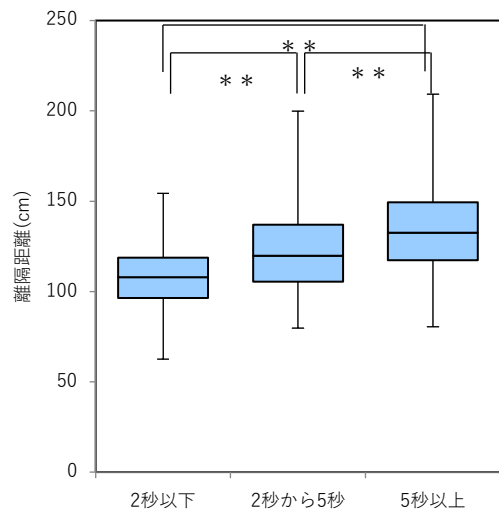


図-7 対向車と離隔距離の関係 (高齢者)

(4) 危険感の発生割合

次に、危険感に対する車種別での発生割合に関して、学生、高齢者別に集計を行った(図-12参照)。Beck et al.の研究¹⁷⁾では、18,527件の離隔距離のデータに対して6

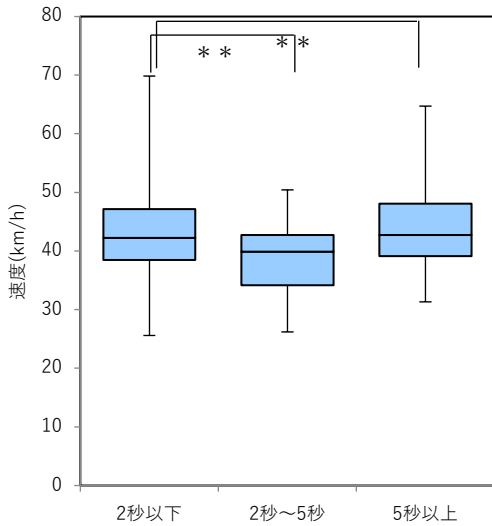


図-8 対向車と追越し速度の関係 (学生)

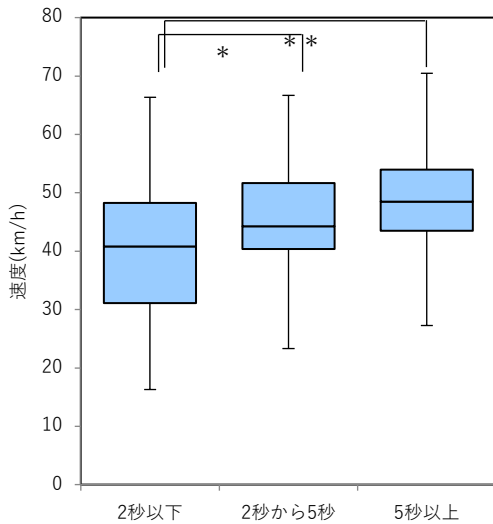


図-9 対向車と追越し速度の関係 (高齢者)

車種, Chuang et al.の研究¹⁵⁾では, 1,380 件の離隔距離のデータに対して 4 車種, Schakel and Parkin の研究¹⁵⁾では, 463 サンプルに対して 7 車種で集計を行っているが, サンプル数が極端に少ない車種も散見される. 本研究では 400 サンプルの実験であったため, 車種を細かく分類することで一部の車種において極端にサンプル数が少なくなるため, 山中らの研究⁸⁾を参考に, 大型車, 一般車の 2 種類に分類した. この結果から, 学生と高齢者とで比較すると, 大型車, 一般車ともに高齢者の方が危険に感じる割合が大きいこと, 一般車より大型車の方が危険に感じる割合が大きいことが見て取れる.

これらの要因の重要度を把握するため, 実験データの危険感を「やや危険」, 「危険」, 「非常に危険」と「安全」に分類し, 2 項ロジスティック回帰分析を用いて分析を行った. この結果を表-1 に示す. なお, Cox &

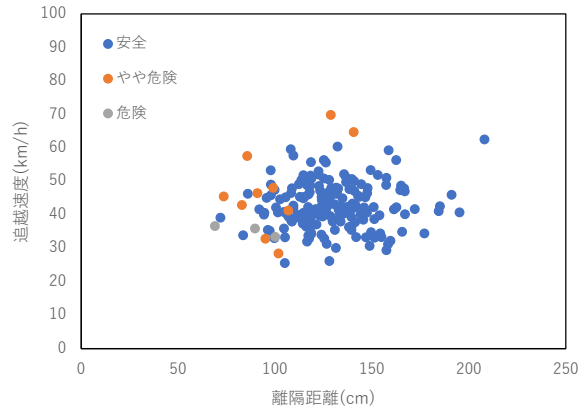


図-10 危険感と離隔距離・追越し速度の関係 (学生)

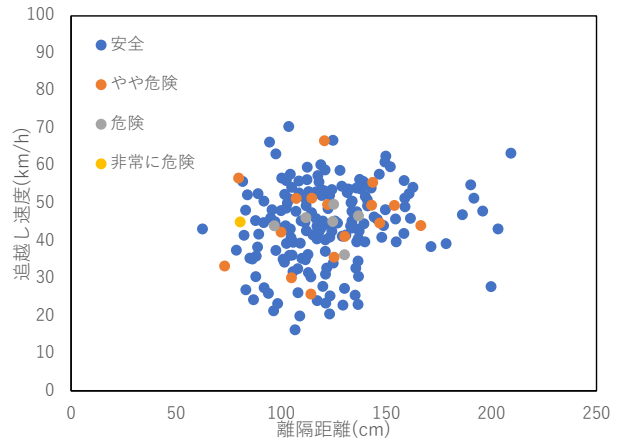


図-11 危険感と離隔距離・追越し速度の関係 (高齢者)

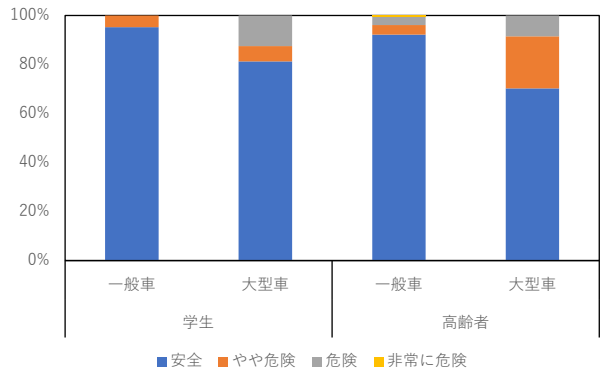


図-12 車種別での危険感の発生割合

表-1 危険感の二項ロジスティック回帰分析の結果

		偏回帰係数	オッズ比	P 値	判定
説明変数	速度	0.032	1.033	0.112	
	離隔距離	-0.025	0.976	0.004	**
	高齢者ダミー	0.449	1.567	0.222	
	大型車ダミー	1.443	4.234	0.000	**
定数項		-1.408	0.245	0.274	
決定係数		Cox-Snell R2乗		Nagelkerke R2乗	
		0.082		0.172	
回帰式の有意性			P<0.001		
判別の中率			89.800%		

Snell の R^2 乗は 0.082, Nagelkerke の R^2 乗は 0.172 やや低くいが, Hosmer-Lemeshow 検定の結果, p 値が 0.56 となりモデルは棄却されなかった. また, 判別的な中率が高く, モデルの有意確率が 1% 以下であった. 各係数の符号も速度が大きくなる程, 離隔距離が短くなる程, 一般車より大型車である程, 学生より高齢者の方が, 危険感の発生確率が高くなるので, 論理的に整合している. このモデルから, 大型車の追越し時が最も危険感の発生確率に影響を与えること, 追越される自転車の利用者が高齢者であることも危険感の発生確率に大きな影響を与えることが見て取れる.

6. まとめ

我が国におけるプローブ自転車をを用いた自転車の追越し挙動に関する研究では, プローブ自転車の計測精度に関する課題が指摘されてきた. そこで, 本研究では, 新たにプローブ自転車を開発し, その計測精度を検証した後, 学生と高齢者に対する離隔距離および危険感に関する比較を行った.

その結果, 以下のような知見が得られた. 1. 自転車を追越す自動車は, 自転車が学生, 高齢者に関わらず対向車との距離が広くなるに従い, 離隔距離が大きくなり, 自動車の速度も速くなる傾向がみられた. 2. 追越し時の危険感に関しては, 学生では, 速度が速い場合, 離隔距離が短い場合に危険に感じるケースが集中する傾向がみられるが, 高齢者では, 速度や離隔距離に依存し難い傾向がみられた. 3. 危険感の発生割合を調べると, 高齢者の方が多く発生することが分かった. 4. 追越し時の危険感発生に関する要因の重要度を二項ロジスティック回帰分析を用いて解析した結果, 大型車が追越す場合, 非常に大きな影響を与えることが示唆された.

本研究は, 片側 1 車線の 1 本の道路を対象に, 学生と高齢者の自転車追越し時の離隔距離や危険感の特性を把握した研究である. これまで道路幅員や自転車レーン, 矢羽根の有無等の道路環境要因での違いや男女での性差, 自動車, 自転車の走行状況等での離隔距離の影響を明らかにする実験を通して, 自転車追越し時の安全性に関する研究が数多くなされ, 様々な知見や課題が挙げられてきた. 本論文の結果は, 限定的な条件下における結果である点は留意すべきであり, 今後様々な条件での実験を行い, 自転車走行空間の安全性向上に資する知見を得る必要がある.

また, 自転車の追越し時の安全性に関しては, 離隔距離, 追越し速度以外にも, 追越し時の自動車と自転車の相対的な位置関係において, 衝突余裕時間や最小相対距離等を使い分ける方法²⁰⁾等, 様々な手法が提案されて

いる. 今後は, プローブ自転車に LiDAR センサー等を付与することで, このような評価指標への対応可能なシステムに改修し, より精緻な検討を行う予定である.

謝辞: 本研究の一部は, 国土交通省新道路技術会議の助成を受けたものである. また, 本研究の遂行にあたり, 福岡大学辰巳浩教授, 大阪市立大学の吉田長裕准教授, 東海大学鈴木美緒准教授より貴重なご意見を賜った. ここに記して感謝の意を表す.

参考文献

- 1) 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, p.149, 2016.
- 2) 国土交通省: 自転車利用環境の整備 <https://www.mlit.go.jp/road/road/bicycle/index.html> (2022.01.29アクセス)
- 3) 厚生労働省: 新型コロナウイルス感染症対策の基本的対処方針, pp.19, 2022.
- 4) 国土交通省: 自転車活用推進本部の取組 <https://www.mlit.go.jp/road/bicycleuse/bicycle-commuting.html> (2022.01.29アクセス)
- 5) 警察庁: 平成29年における交通死亡事故の特徴等について <https://www.npa.go.jp/toukei/koutuu48/H29siboubunnseki.pdf> (2022.01.29アクセス)
- 6) Kovaceva, J., Nero, G., Bärgman, J. and Dozza, M., "Drivers overtaking cyclists in the real-world: Evidence from a naturalistic driving study", *Safety Science*, Vol.119, pp.199-206, 2019.
- 7) 鈴木美緒, 細谷奎介, 屋井鉄雄: 自転車の走行空間整備に向けた駐車車両追越し挙動に関する基礎的研究, 交通工学論文集, Vol.2, No.1, pp.21-30, 2016.
- 8) 山中 英生・亀井 壤史: プローブバイシクルを用いた車道走行自転車の安全感評価モデルの開発, 土木計画学研究・論文集, Vol.32, No.71, pp.623-628, 2015.
- 9) 水尻翼, 辰巳浩, 吉城秀治, 堤香代子, 向井康裕: 車道走行する自転車が自動車の走行挙動に及ぼす影響に関する研究, 交通工学論文集, Vol.5, pp.A_64-A_72, 2019.
- 10) 原澤拓也, 山中英生, 西本拓弥: 追越挙動に基づく道路部自転車通行空間の安全感評価モデルの開発, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.72, No.5, pp.I_845-I_852, 2016.
- 11) 松本太朗, 吉城秀治, 辰巳浩, 堤香代子, 権藤梨奈: 自転車を追い越す自動車の走行挙動が対向車線の自動車走行挙動に及ぼす影響, 第41回交通工学研究発表会論文集, CD-ROM, 2021.
- 12) Walker, I., "Drivers overtaking bicyclists: Objective data on the effects of riding position, helmet use, vehicle type and apparent gender", *Accident Analysis and Prevention*, Vol.39, No.2, pp.417-786, 2007.
- 13) Chuang, K. H., Hsu, C. C., Lai, C. H., Doong, J. L. and Jeng, M. C., "The use of a quasi-naturalistic riding method to investigate bicyclists' behaviors when motorists pass", *Accident Analysis and Prevention*, Vol.56, pp.32-41, 2013.

- 14) Love, D. C., Breaud, A., Burns, S., Margulies, J., Romano, M. and Lawrence, R., "Is the three-foot bicycle passing law working in Baltimore, Maryland?", *Accident Analysis and Prevention*, Vol.48, pp.451-456, 2012.
- 15) Shackel, S. C. and Parkin, J., "Influence of road markings, lane widths and driver behaviour on proximity and speed of vehicles overtaking cyclists", *Accident Analysis and Prevention*, Vol.73, pp.100-108, 2014.
- 16) 例えば, Mackenzie, J.R.R., Dutschke, J.K. and Ponte, G., "An investigation of cyclist passing distances in Australian Capital Territory", *Accident Analysis and Prevention*, Vol.154, pp.1-10, 2021.
- 17) Beck, B., Perkins, M., Olivier, J., Chong, D. and Johnson, M., "Subjective experiences of bicyclists being passed by motor vehicles: The relationship to motor vehicle passing distance", *Accident Analysis & Prevention*, Vol.155, 2021.
- 18) Rasch, A., Moll, S., López, G., García, A. and Dozza, M., "Drivers' and cyclists' safety perceptions in overtaking maneuvers", *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol.84, pp.165-176, 2022.
- 19) 例えば, Piccinini, G. B., Moretto, C., Zhou, H. and Itoh, M., "Influence of oncoming traffic on drivers' overtaking of cyclists", *Transportation Research Part F*, Vol.59, pp.378-388, 2018.
- 20) Dozza, M., Schindler, R., Piccinini, G. B. and Karlsson, J., "How do drivers overtake cyclists?", *Accident Analysis & Prevention*, Vol.88, pp.29-36, 2016.

(2022.?.? 受付)

AN ANALYSIS OF OVERTAKING MANEUVERS BY MOTER VEHICLES AND CYCLISTS' RISK PERCEPTIONS FOR ELDERLY CYCLISTS

Shuichi MATSUMOTO, Masashi UEDA, Jun SAKURAI, Kaito YONEZAWA, Yasuo KAWAI
and Hideo YAMANAKA