

車道上での並走を想定した走行実験にもとづく 電動キックボード・自動車相互の走行評価

内田 健人¹・吉岡 慶祐²・下川 澄雄³

¹正会員 国際航業株式会社 インフラマネジメント事業部 (〒660-0805 兵庫県尼崎市西長洲町1-1-15)
E-mail: taketo_uchida@kk-grp.jp

²正会員 日本大学助教 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)
E-mail: yoshioka.keisuke@nihon-u.ac.jp

³正会員 日本大学教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)
E-mail: shimokawa.sumio@nihon-u.ac.jp

近年、電動キックボードの利用が加速しており、都市部を中心に事業者によるシェアリングサービスが広がっている。2022年4月の道路交通法改正では、「特定小型原動機付自転車」の新たな車両区分が定義され、電動キックボードは車道上の通行が原則となったため、既存の車道上の道路空間において電動キックボードと自動車が混在する状況が今後増加することが想定される。しかし、車道上での混在状況における安全性や望ましい横断面構成についての議論は十分になされていない現状にある。

本研究では、仮想の道路空間を実験フィールドに構築し、複数の横断面構成において電動キックボードと自動車が並走する走行実験を実施した。その結果、電動キックボードと自動車の並走時の離隔距離が双方の走行評価に影響を与えること、その程度は自転車と自動車の並走と同等であることが明らかとなった。

Key Words: *electric kickboard, separation distance, cross-sectional structure, field experiment parallel running*

1. はじめに

近年、電動キックボード、超小型EV、自動配送ロボットなどの様々な新たなモビリティの開発が進んでおり、これからの交通社会を担う次世代モビリティとしての普及が期待されているところである。とりわけ、本研究で対象とする電動キックボードは、都市部や観光地での回遊行動やラストワンマイルを担う交通手段の一つとしての活用が期待されており、都市部を中心に事業者によるシェアリングサービスも広がっている。

令和4年4月には、道路交通法の一部を改正する法案¹が可決され、電動キックボードを含む小型の電動モビリティは、最高速度や車体の大きさ等が一定の基準に該当する場合に「特定小型原動機付自転車」という新たな車両区分として定義されることとなった。これにより、電動キックボードは基本的に車道を通行することが原則となり、今後車道上を走行する電動キックボードがさらに増加することが予想される。

このような状況を踏まえると、電動キックボードの走行空間を既存の道路空間の中でどのように確保するかについて、科学的根拠に基づいた十分な検証・議論が必須

であると考えられるが、このためには、電動キックボードと自動車が混在する状況下において、並走時における双方の立場からの安全性や快適性に関する知見が必要である。

そこで本研究では、複数の横断面構成を想定した実験フィールドを構築し、横断面構成の違いから生じる電動キックボードと自動車の並走時の離隔距離や、自動車と電動キックボード双方の速度が、それぞれの走行の安心感や快適性に与える影響を明らかにする。また、これらの関係性をモデル化することで定量的に把握することを目的とする。

2. 既往研究・関連研究の整理

(1) 電動キックボードに関わる国内の研究・報告

ここ数年、国内でも電動キックボードの実証実験やシェアリングサービスが始まっており、電動キックボードの安全性や走行空間に関する報告・研究も見られる。

警察庁の多様な交通主体の交通ルール等の在り方に関する有識者検討会の最終報告書²では、走行実験におけ

る電動キックボードの基本的な運転行動や交通ルールの違反行為の状況について報告している。また、経済産業省の多様なモビリティ普及推進会議の資料³⁾によると、これまでに実施された各地における電動キックボード実証実験の参加者アンケートでは、自転車よりも危険と感じる人もいるものの、大半が自転車より安全もしくは自転車と同等と回答しているとの報告もある。

電動キックボードの走行に関わる研究として、伊藤ら⁴⁾は、実道上における走行実験から、電動キックボード利用者の主観評価と走行環境との因果関係を分析し、舗装等の路面状況、大型車台数・路上駐車台数等の交通環境、電動キックボードの乗車経験等が電動キックボードの安全性・快適性に影響することを報告している。佐々木ら⁵⁾も、実道の単路部および交差点における走行実験から電動キックボードの安全性・快適性に与える影響を分析し、自転車道が整備された道路空間や、車線幅員が十分に広い道路空間において安全性・円滑性が確保されることを明らかにしている。鈴木⁶⁾は、電動キックボードと歩行者がすれ違う状況における走行実験から、電動キックボードの回避特性が相対速度によって変化することや、すれ違い時の電動キックボードおよび歩行者の両者が受ける不安感は、自転車よりも電動キックボードの方がやや高いことを示している。

しかし、車道上で電動キックボードと自動車が混在する状況において、望ましい道路空間の検討に資する知見はまだ不十分であり、とくに自動車側からの評価については、上記の既往研究ではなされていない。本研究は、望ましい道路空間を検討するための一端を担うものとして、電動キックボードと自動車の双方の視点から評価を行うものである。

(2) 自転車の通行空間に関する研究

電動キックボードの車道上での走行空間に関する研究は少ないが、自転車に関しては、同様の問題認識から、自転車の走行空間や安全性に関する研究が存在する。

例えば自動車側からの視点の評価として、水尻ら⁷⁾は、実道での調査やドライビングシミュレータによる実験から、自動車が車道上を走行する自転車を追い越す際の挙動への影響要因を明らかにしている。

次に自転車側からの視点の評価として、原澤ら⁸⁾は、プローブバイクを用いた実道走行調査から、自転車が自動車に追い越される際の安全感評価モデルを構築し、自動車の速度や自動車との離隔距離のほか、カラー舗装や矢羽根といった街路条件が影響していることを明らかにしている。また、山中ら⁹⁾は、アンケート調査から、車道走行する自転車の安全感に与える要因として、自動車の追越しの影響が大きいことを明らかにしている。

さらに紫藤ら¹⁰⁾は、ドライビングシミュレータによる



図-1 実験フィールドと実験の様子

表-1 実験における横断面構成

パターン	横断面模式図 (各境界部には布テープを設置)	計算上の車両端 離隔距離(m)
1		0.63 (キックボード) 0.59 (自転車)
2		1.13 (キックボード) 1.09 (自転車)
3		1.63 (キックボード) 1.59 (自転車)

実験と実道での走行実験により、自転車と自動車双方の視点から、並走時の妥当な離隔距離が1.5mであることを示している。

このように、電動キックボードと扱いに近い自転車の走行空間や安全性に関する研究は多数存在しており、本研究の手法や分析結果の解釈において参考になるものである。これらの既往研究の知見も踏まえつつ、比較対象として自転車の走行実験を実施することも本研究の特徴の一つである。

3. 走行実験

(1) 実験の概要

本研究では、図-1 に示すように日本大学理工学部船橋キャンパス内の交通総合試験路において、表-1 に示す都市部における一般的な往復2車線道路（第4種2級～3級相当）を想定した3通りの横断面構成を有する仮想的な道路空間（延長 250m）をラインテープで構築し、電動キックボードまたは自転車と自動車が走行し、並走・追越する状況を再現する走行実験を実施した。自転車の実験も同様に実施したのは、電動キックボードとの比較対象とすることを意図したものである。

実験は2021年10月と2022年2月の2回に分けて実施した。いずれも天候は晴れ、風は穏やかで、電動キックボードや自転車の走行に影響を与えるような路面状況・気象条件ではなかった。

なお、横断面構成は表-1 に示す 3 通りで走行実験を実施するが、以降の分析においては、実際に生じた電動キックボードまたは自転車と自動車の離隔距離により評価をする。3 通りの横断面構成を用意したのは、実際に観測される離隔距離にバラエティが生じるようにしたためである。

(2) 実験手順と走行方法

実験に先立って、被験者には電動キックボードおよび自転車の道路交通法での扱いや基本的な通行ルールについて説明した。また、基本的な操作方法の指導をしたのち、実験に慣れてもらうための練習走行を各被験者が 10 回程度行い、実験の手順や走行方法を被験者が十分に理解した状態で本番の走行実験を開始した。

実験では、実験フィールド内で並走・追越が生じるようにあらかじめ目安となる走行速度やスタート位置を設定し、被験者は指示者の合図で同時に走行を開始する。走行位置については、電動キックボード・自転車は表-1 中の路肩、自動車は車線内を、普段の運転と同じように走行するように指示した。なお、路肩および車線のちょうど中心を走行した場合の電動キックボードまたは自転車と自動車の計算上の車両端離隔距離は表-1 に示す通り 0.6m~1.6m 程度となる。また、設定した走行速度は電動キックボード・自転車が 15km/h と 25km/h の 2 パターン、自動車が 30km/h と 40km/h の 2 パターンであり、その組み合わせで 4 パターンである。被験者には、走行の直前にこの 4 パターンの中からランダムで走行速度を指示したが、設定した速度を維持することに被験者の意識が向きすぎないように、目安の速度として走行することとした。

以上のような走行方法により、複数の被験者・横断面構成・走行速度のパターンで実験走行を繰り返す、電動キックボードと自動車の並走を 110 回、自転車と自動車の並走を 113 回の合計 223 回分の走行についてデータを取得した。

(3) 使用車両および被験者

実験に使用した車両とその諸元は表-2 に示すとおりである。使用した電動キックボードはセグウェイナインボット社製の J-Max である。現行の道路交通法上では原動機付自転車の車両区分となり、公道走行が可能なものとして、サイドミラーや方向指示器、前照灯などの保安装置を備えている。自動車は、一般的なセダンタイプの乗用車としてトヨタのプリウスとした。電動アシスト自転車は、一般的なシティサイクルとして YAMAHA の PAS ナチュラ M とし、電動アシスト機能と走行速度が表示されるメーターが備わっているものである。

被験者は、いずれも自動車運転免許証を保有する 21~24 歳の男子大学生であり、電動キックボード・自転車の

表-2 使用車両の諸元

車種	メーカー 製品名	サイズ 仕様等	写真
電動キックボード	セグウェイ ナインボット社製 J-MAX	全長：1167mm 全幅：472mm ホイール径： 10 インチ モーター出力： 350W 公道走行対応	
自動車	トヨタ プリウス (セダンタイプ)	全長：4575mm 全幅：1760mm	
電動アシスト自転車	YAMAHA PAS ナチュラ M	全長：1800mm 全幅：560mm タイヤサイズ： 24 インチ 電動アシスト機能付き	

被験者 10 名、自動車の被験者 6 名である。被験者には事前に電動キックボードの乗車経験、自転車の日常利用頻度、自動車の日常利用頻度について質問しており、これらの情報も被験者属性として以降の分析で考慮する。

(4) データの取得方法

本研究では、アンケートによる被験者の主観評価データと、ビデオ観測による走行挙動データの取得を行った。

アンケートについては、被験者に対して 1 回の走行が終了するたびに実施した。アンケートの内容は、並走時の接触の危険性 (Q1)、並走時の不安感 (Q2)、並走時の走りやすさ (Q3) の 3 つであり、それぞれ 5 段階評価 (悪い: 1, やや悪い: 2, どちらでもない: 3, やや良い: 4, 良い: 5) の回答とした。

走行挙動データについては、実験フィールド横の建物屋上に設置された複数のビデオを映像から、自動車が電動キックボードまたは自転車と並走した際の離隔距離や相対速度を取得した。

なお、本研究における「並走」とは、電動キックボードまたは自転車と自動車の双方の前輪タイヤの位置がちょうど横並びになった瞬間を「並走」したタイミングとし、その際の電動キックボードまたは自転車と自動車の車両端同士の距離を「離隔距離」、両者の速度差を「相対速度」と定義した。

表-3 電動キックボード・自転車からの主観評価結果

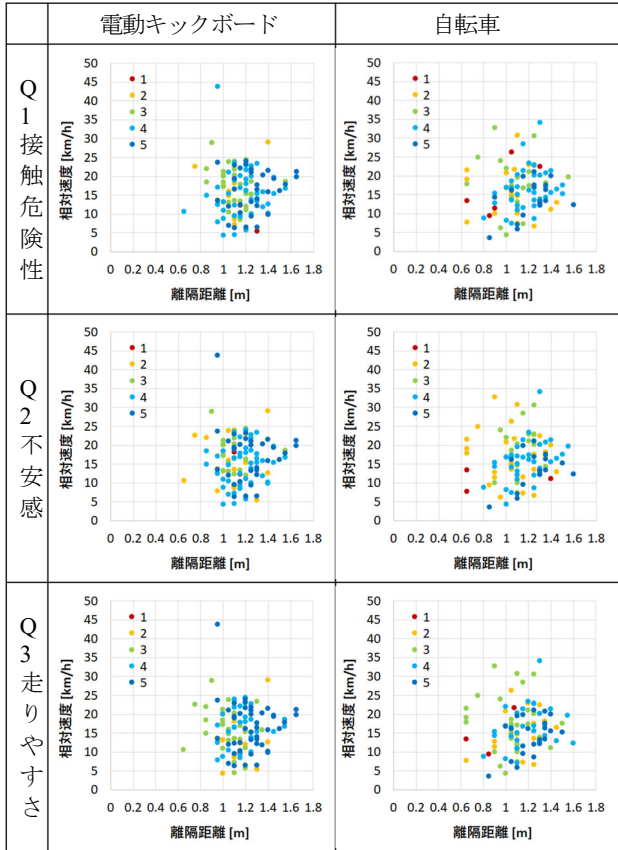
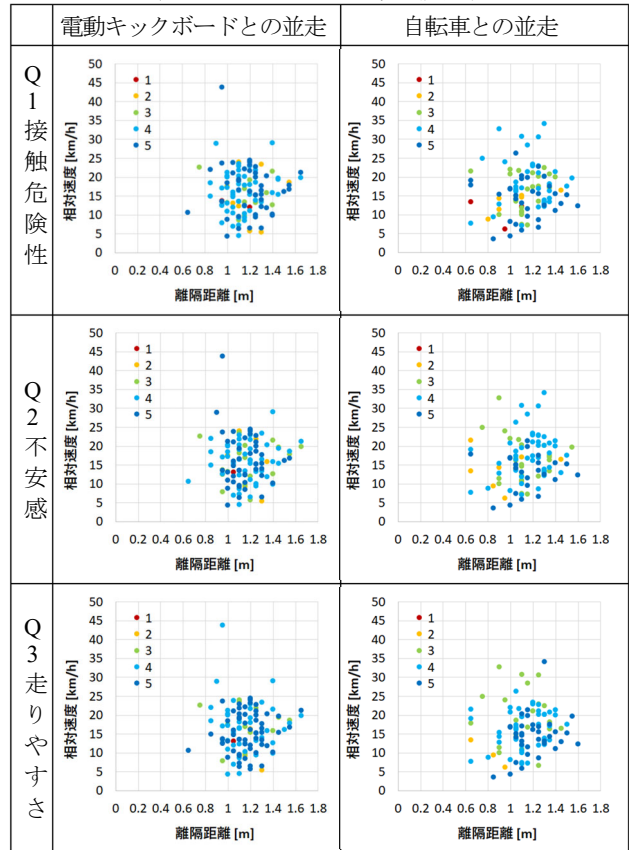


表-4 自動車からの主観評価結果



4. 実験条件別の主観評価結果

(1) 電動キックボード・自転車の主観評価

表-3 は、全 223 回分の走行に対して、電動キックボードおよび自転車の主観評価 (Q1~Q3) の結果を、離隔距離と相対速度に応じて色分けして示したものである。

電動キックボードに関しては、いずれの設問においても評点が 3 以上が多く、接触の危険性、不安感、走りにくさを感じるケースは全体に対してそれほど多くないものとなった。しかし、評点が低めの傾向となる離隔距離が 1.0m 以下となるプロットが少ないことから、1.0m 程度の離隔距離が確保されるように自動車が回避行動を取っていた可能性もある。一方で自転車に関しては、離隔距離が 1.0m~1.2m 以下の状況において評点が低いプロットが目立っている。したがって、離隔距離が 1.0m~1.2m 以上確保される道路空間であれば、危険を感じたり走りにくさを感じることはほとんど無く、それは電動キックボードも自転車も概ね同等であるものと考えられる。なお、離隔距離 1.0~1.2m は、原澤ら⁸⁾や紫藤ら¹⁰⁾の研究で報告されている離隔距離と比較してわずかに小さい。この理由としては、本研究は実験フィールドでの仮想の道路空間で行った走行実験であるため、実道での実験に対して危険性を感じにくかったことが考えられる。

その一方で、相対速度については、評点との関係性を見出すことはできなかった。

(2) 自動車の主観評価結果

表-4 は、同様に全 223 回分の走行に対して、自動車の主観評価の結果を、電動キックボードとの並走、自動車との並走に分類して示したものである。

全体的な傾向として、自動車は電動キックボードや自転車と比較してさらに評点が高く、評点が 1 や 2 となるプロットは全体の中で極めて少ない。ただし、自転車側の評価と同様に、離隔距離が 1.0~1.2m 程度を境に、とくに接触の危険性 (Q1) において、やや評点の低いプロットもわずかに見られる。一方で、これ以上の離隔距離が確保されれば、自動車側としても十分に許容される道路空間であるものと考えられる。

5. 主観評価の影響要因分析

(1) 順序ロジットモデル

アンケートにより得られた主観評価の結果が、どのような要因により影響を受けたのかを定量的に把握するために、以下の式(1), (2)で示される順序ロジットモデルに

表-6 パラメータ推定結果 (電動キックボード・自転車からの評価)

	Q1: 並走時の接触の危険性		Q2: 並走時の不安感		Q3: 並走時の走りやすさ	
	偏回帰係数	t 値	偏回帰係数	t 値	偏回帰係数	t 値
離隔距離 (m)	3.808	4.871**	3.300	4.235**	3.924	4.881**
相対速度 (km/h)	-0.031	-1.369	-0.037	-1.55	-0.008	-0.337
KB ダミー	0.365	1.413	0.634	2.416*	0.621	2.349*
初回走行ダミー	0.506	0.957	-0.146	-0.278	-1.249	-1.985*
KB 乗車経験ダミー	0.291	0.919	0.644	2.006*	0.616	1.925
自転車利用高頻度ダミー	0.243	0.85	0.130	0.454	0.087	0.302
閾値(評価値 1→2)	-4.035	-4.238**	-3.757	-3.947**	-4.823	-4.773**
閾値(評価値 2→3)	-5.783	-5.818**	-5.551	-5.591**	-6.133	-5.877**
McFadden の決定係数	0.0739		0.0785		0.0970	
AIC	457.85		450.76		449.01	
的中率	45.7%		52.9%		51.6%	
サンプル数	223		223		223	

**: p<0.05, *: p<0.1

表-7 パラメータ推定結果 (自動車からの評価)

	Q1: 並走時の接触の危険性		Q2: 並走時の不安感		Q3: 並走時の走りやすさ	
	偏回帰係数	t 値	偏回帰係数	t 値	偏回帰係数	t 値
離隔距離 (m)	0.991	1.448	0.525	0.777	1.699	2.441*
相対速度 (km/h)	0.001	0.062	-0.017	-0.8	-0.060	-2.730**
KB ダミー	0.557	2.195*	0.696	2.732**	0.770	2.929**
初回走行ダミー	-1.321	-1.709	-1.650	-1.857	-1.583	-1.889
自動車利用高頻度ダミー	-0.207	-0.787	0.054	0.204	-1.024	-3.697**
閾値(評価値 1→2)	-0.224	-0.259	0.398	0.468	0.685	0.788
閾値(評価値 2→3)	-2.044	-2.330*	-1.510	-1.763	-1.390	-1.593
McFadden の決定係数	0.0222		0.0267		0.0764	
AIC	484.80		482.06		443.53	
的中率	44.8%		43.5%		52.0%	
サンプル数	223		223		223	

**: p<0.05, *: p<0.1

よる回帰分析を行う。

なお、前章で示した主観評価アンケートの評点の多くが 3 以上であったため、順序ロジットモデルのカテゴリーを 3 つ (評点 1-3 を 1, 評点 4 を 2, 評点 5 を 3) に変換することとした。

$$P_k = \frac{1}{1 - \exp(V - \mu_k)} \quad (1)$$

$$V = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot x_i \quad (2)$$

ここに、 P_k : 選択肢 k 以下が選択される確率、 μ_k : 選択肢 k の閾値、 V : 効用関数、 x_i : 説明変数 i 、 α_i : 説明変数 i のパラメータである。

パラメータの説明変数としては、並走時における電動キックボードまたは自転車と自動車の離隔距離や相対速度のほか、電動キックボードまたは自転車の被験者の属性として電動キックボードの乗車経験や自転車の利用頻

度、自動車の被験者に対しては、自動車の運転頻度を考慮した。なお、電動キックボードダミー (KB ダミー) は、電動キックボードでの走行、または電動キックボードとの並走を指すダミー変数 (電動キックボードの場合に 1, 自転車の場合に 0) である。

(2) 電動キックボード・自転車からの評価の要因

表-6 は、電動キックボード・自転車側の Q1 から Q3 の主観評価結果に対するパラメータの推定結果をそれぞれ示したものである。McFadden の決定係数は 0.07~0.09、的中率は 45~53% であり、回帰式の適合度は決して高いとはいえない。

各説明変数の影響度を見ると、Q1~Q3 のいずれにおいても、離隔距離の t 値が最も大きく、有意水準 5% において有意な説明変数となった。偏回帰係数は正であり、これは離隔距離が大きいほど高い評点を選択されやすくなることを示しており、リーズナブルな結果であるといえる。

Q2 (並走時の不安感) においては、電動キックボードダミーが有意水準 10% で有意な説明変数となり、偏回帰係数が正であることから、自転車よりも電動キックボードに乗車したほうが高い評点を選択しやすいことを意味している。したがって、自転車と比較するとむしろ電動キックボードの方が不安を感じにくいものと考えられる。また、電動キックボードの乗車経験も同様に有意な説明変数となり、電動キックボードの乗車経験のある被験者の方が、高い評点を選択しやすいことを示している。

Q3 (並走時の走りやすさ) においては、電動キックボードダミーや初回走行ダミーが有意な説明変数となり、乗車経験を積むことで走りやすさに対する評価が向上する可能性があることも示唆された。

(3) 自動車からの評価の要因

次に、表-7 は自動車側の Q1 から Q3 の主観評価結果に対するパラメータの推定結果をそれぞれ示したものである。McFadden の決定係数は 0.02~0.07、的中率は 43~52% であり、電動キックボードまたは自転車の推定結果に比べてさらに回帰式の適合度はさらに低いものとなった。

各説明変数の影響度を見ると、Q1 (接触の危険性) と Q2 (並走時の不安感) においては、電動キックボードダミーのみが有意な説明変数となった。偏回帰係数が正であることから、自動車側からも電動キックボードとの並走の方が自転車と比較して危険を感じにくいことを示唆している。モデルの適合度がとくに低いため、解釈には注意が必要であるが、被験者からのコメントでは、自転車よりも電動キックボードの方が左右のふらつきが小さいため、自転車よりも安心して追越しができたとの理由も聞かれた。一方で、離隔距離は有意な説明変数とはならなかった。この理由としては、本研究における離隔距離は、並走した瞬間の距離と定義しているが、自動車側は並走する以前から後方より電動キックボードを視認しており、並走前の位置関係も主観評価の評点に影響していることや、場合によっては回避行動をとったために、並走時の離隔距離との関係性は必ずしも明確に表れなかったことが考えられる。

Q3 (走りやすさ) においては、電動キックボードダミーのほか、離隔距離や相対速度、自動車の利用頻度も有意な説明変数となっている。離隔距離に関しては偏回帰係数が正であり、相対速度については偏回帰係数が負であることから、並走時の離隔距離が大きく、かつ相対速度が小さいほど、評価が高いことを意味している。相対速度がとくに小さい場合、電動キックボードや自転車の追抜きに時間を要することが影響しているものと考えられる。自動車高頻度ダミーについては、偏回帰係数が負であることから、自動車の利用頻度が多い被験者ほど、

低い評価を選択しやすいことを示している。これは、日常的に運転する被験者のほうが、電動キックボードや自転車との並走という特殊な実験環境において走りにくさを感じやすかったためであると考えられるが、被験者数が十分ではないため注意が必要である。

6. おわりに

本研究では、実験フィールドに構築した仮想の道路空間における走行実験から、電動キックボードと自動車の並走時の双方の走行評価に対する影響要因について分析した。その結果、離隔距離が双方の走行評価に影響を与えているのは明確であり、離隔距離が 1.0m 以上あれば危険を感じたり走りにくさを感じることはほとんど無いことが明らかとなった。また、それは自転車の並走と比較して同程度であることも示唆された。

ただし、本研究では並走の瞬間の位置関係・速度のみの挙動データに基づいたものであり、自動車が後方から追越しを始める前から追越しを終了するまでの一連の挙動を評価できていない点に大きな課題がある。また、被験者が男子大学生のみであり、年齢や性別といった被験者の属性や、個々の運転能力・安全に対する感受性といった個人属性の影響を考慮できていない。モデルの適合度の低さはこのような課題が一因であると考えられることから、さらなるデータの取得と分析が必要である。

謝辞：本研究は、(公財)国際交通安全学会の研究プロジェクト(2008A, 2108B, 2208C)の一部として実施したものである。

参考文献

- 1) 警察庁ホームページ：道路交通法の一部を改正する法律案 (概要)
https://www.npa.go.jp/laws/kokkai/05_sankoushiryuu.pdf
(最終閲覧日：2022年9月20日)
- 2) 警察庁ホームページ：多様な交通主体の交通ルール等の在り方に関する有識者検討会 報告書,
<https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/council/houkokusyo.pdf>
(最終閲覧日：2022年9月20日)
- 3) 経済産業省ホームページ：第3回多様なモビリティ普及推進会議資料,
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/mobility/pdf/003_08_00.pdf
(最終閲覧日：2022年9月20日)
- 4) 伊藤隆也, 川合琉介, 鈴木弘司, 吉岡慶祐：電動キックボード利用者の道路交通環境に対する評価要因分析, 第63回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, 2021.
- 5) 佐々木啓太, 立松秀樹, 田中淳, 高山琴名, 鈴木弘

- 司：次世代モビリティを踏まえた道路空間のあり方に関する実証実験，第 42 回交通工学研究発表会論文集，CD-ROM，2022.
- 6) 鈴木一史：電動キックボードすれ違い時の交錯回避特性と利用者不安感の分析，第 64 回土木計画学研究発表会・講演集，CD-ROM，2021.
- 7) 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，5 巻，2 号，pp.A_64-A_72, 2019.
- 8) 原澤拓也，山中英生，西本拓弥：追越挙動に基づく車道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.
- 9) 山中英生，原澤拓也，西本拓弥：サイクリストによる多様な車道内自転車通行空間の安全感評価，交通工学論文集，3 巻，4 号，pp.A_15-A_21, 2017.
- 10) 紫藤聖也，沼田仲穂，澤田東一，松井雄馬：車道に於ける自動車と自転車の並走に関する研究，自動車技術会論文集，44 巻，1 号，2013.

EVALUATION OF BOTH ELECTRIC KICKBOARD AND AUTOMOBILE
BASED ON FIELD EXPERIMENT ASSUMING PARARELL DRIVING
ON ROADWAY

Taketo UCHIDA, Keisuke YOSHIOKA and Sumio SHIMOKAWA