

自転車の走行空間整備に向けた 追い越し挙動に関する基礎的研究

細谷 奎介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 総合理工学研究科人間環境システム専攻
(〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町4259)

E-mail:hosoya.k.aa@m.titech.ac.jp

²正会員 東京工業大学大学院助教 総合理工学研究科人間環境システム専攻
(〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町4259)

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

³正会員 東京工業大学大学院教授 総合理工学研究科人間環境システム専攻
(〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町4259)

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

近年、車道上の自転車走行空間整備が推進されているものの、現状では多数の路上駐車により本来の走行快適性・安全性が確保できていない。しかし、都内では特に商業目的の路上駐車に対する需要が高く完全な排除は困難であるため、駐車車両の存在も考慮した整備が必要とされている。そこで本研究では、ビデオ観測により自転車の駐車車両追い越し挙動の分析を行い、さらにサイクリングシミュレータを用いて道路構造の挙動への影響を抽出した。その結果、道路構造・自転車運転挙動・後方接近自動車による駐車車両追い越し挙動への影響が明らかとなり、駐車車両を考慮した自転車走行空間整備の必要性が示された。

Key Words : *bicycle facilities ,parking vehicle,roadway, cycling simulator, behaviour analysis,*

1. 序論

自転車はエコで手軽な交通手段としてだけでなく、近年では通勤や趣味でのスポーツサイクルの利用が増えるなど、利用形態がより多様になっているが、そのような高速自転車の増加に対して、自転車の歩道走行率は依然として高いままである。

車道走行の安全性向上のため、東京都内では来年度に国道246号線や国道15号線の一部区間において自転車ナビマーク等の導入が計画される^[1]など、車道上の自転車走行空間整備が進んでいる。しかし、走行空間を整備しても駐停車車両により道路左端を占拠され、本来の整備による快適性や安全性が確保されず、走行空間利用率が低下するという問題が指摘されている。駐車禁止区間では取締りが行われているものの、都内では違法駐車の数も多く、また商業目的の駐停車も多いために排除しきれないのが現状であり、それを考慮した自転車走行空間の整備を検討する必要があると言える。

そこで本研究では、まずこれまで明らかにされていなかった自転車の駐車車両追い越し挙動に対する影響要因を実走観測より明らかにし、整備において検討すべき項目を提案した。さらに、整備計画の際により詳細な検討を可能とするため、道路の事前評価を

行う手法として本研究室で開発中のサイクリングシミュレータ「MORICS1」（以下CS）を用いた追越挙動実験を行い、再現性検証を行った後に観測と同様に影響要因の抽出を行った。

2. 既往研究のレビューと本研究の位置づけ

これまでの自転車の回避挙動に関する研究は、主に自歩道上での歩行者に対する挙動を対象としたもの^[2]がほとんどである。車道上での自転車の挙動を対象にした研究は、ユーザーの自動車に対するストレスや視線挙動を扱ったもの^{[3][4]}が、本研究のような車道上での駐車車両に対する追い越し挙動を対象とする研究は非常に少ない。

3. 追い越し挙動の観測とデータの作成

(1) ビデオ調査の概要

調査は異なる道路構造を有する都内8地点(表-1)にて自転車の駐車車両追い越し挙動をビデオにより観測した。その後、画像に分割し解析することでデータを得た。

表-1 観測地点の道路構造

道路名	整備形式	塗装	レーン幅員 (cm)	車線数	サンプル数
国道 246 号線	無	有	0	多	77
国道 17 号線	レーン	有	150	1	20
国道 15 号線	レーン	無	200	多	35
都道 431 号線	レーン	有	150	1	21
都道 312 号線	路肩	無	150	多	27
区道補助 60 号線	ナビマーク	無	0	1	42
西葛西駅前通り	レーン	有	150 / 100	1	20
新田仲町通り	無	無	0	1	19

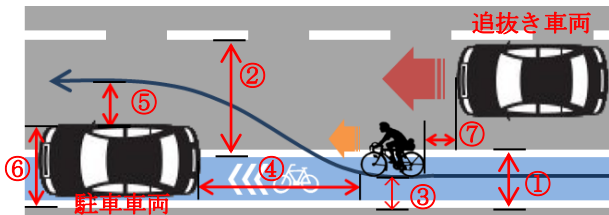


図-1 自転車による駐車車両追越しの概念図

表-2 駐車車両追越し挙動に影響する項目

分類	項目名称	データ内容
個人属性	高年齢層	高年[1]・若中年[0]
	性別	男[1]・女[0]
	車種	シティ[1]・スポ-
道路構造	レーン	有[1]・無[0]
	レーン塗装	有[1]・無[0]
	レーン幅員 .①	数値 (50cm)
	レーン線	実線[1]・点線[0]
	車線数	1 [1]・多[0]
	車道幅員 .②	数値 (50cm)
	坂上り	有[1]・無[0]
	坂下り	有[1]・無[0]
	交通量	数値 (1台/1h)
自転車運転挙動	速度	数値 (0.2km/h)
	走行位置 .③	数値 (10cm)
	後方確認	有[1]・無[0]
	空走	有[1]・無[0]
追越挙動	追越開始距離.④	数値 (1m)
	追越幅 .⑤	数値 (10cm)
シチュエーション	駐車幅 .⑥	数値 (10cm)
	駐車車種	乗用[1]・大型[0]
	追抜き種類.(図-2)	並走[1]・後続[0]
	追抜き車種	乗用[1]・大型[0]
	相対速度	数値 (0.2km/h)
	追抜き車距離.⑦	数値 (1m)

※①内は最小単位値

[]はダミー

太字は相関分析により有意な項目

(2) 挙動データの概要

ビデオ調査データより追い越し挙動に関するデータと、各項目に関連のあると考えられる事象（個人属性・自転車運転挙動・道路構造・シチュエーション）を項目として設定した。データ化を行った全ての項目を表-2および図-1に記載する。

4. 追越挙動への影響要因の抽出

追い越し挙動をとる自転車利用者は、周辺からの様々な要因に影響を受け、最終的にその走行軌跡を決定する。本研究では、追い越し挙動時の走行軌跡を駐車車両および追抜き車両との位置関係によるものであるとして、3章の観測データを用いてこの2つの決定に対する影響要因の抽出を行った。

(1) 駐車車両との位置関係への影響要因

追い越し挙動を特徴づける「追越開始距離」「追越幅」を目的変数、事前に行った相関分析によりこれらの目的変数との相関がみられた各項目を説明変数とし、変数増加法による重回帰分析を行った。分析結果を表-3および表-4に示す。また、ここでは道路構造も影響要因の候補として対象とするが、これらには構造による空間的影響に加え、例えばレーンが整備されることにより車道を走行する自転車ユーザーの属性および挙動が変化することによる影響も含まれる。例として、レーン別・車線数別の個人属性およびそのX二乗検定結果を表-5及び表-6に示す。

表-3 重回帰分析結果（目的変数：追越開始距離）

自由度補正済決定係数：0.532

サンプル数：258

	標準化回帰係数	t	
定数項	3.05E-16	7.19E-15	
速度	0.286 ***	5.69	***: 0.1%
レーン	-0.132 **	-2.84	** : 1%
車線数	-0.505 ***	-10.74	* : 5%

表-4 重回帰分析結果（目的変数：追越幅）

自由度補正済決定係数：0.501

サンプル数：258

	標準化回帰係数	t	
定数項	-0.021	-0.474	
駐車幅	-0.315 ***	-5.71	
速度	0.221 ***	3.95	
レーン	-0.125 *	-2.06	
車線数	-0.478 ***	-9.02	
追抜き種類	-0.136 **	-2.68	***: 0.1%
高年齢層	-0.114 *	-2.41	** : 1%
			* : 5%

表-5 道路構造別の個人属性(人)

	スポーツ	シティ	高年	若中年
レーン有	49	93	29	113
レーン無	58	61	10	109
1車線	66	56	14	108
多車線	41	98	25	114

表-6 X二乗検定結果

**: 1%
*: 5%

	車種 X二乗値	有意 水準	年齢層 X 二乗値	有意 水準
レーン有無	5.42	*	7.36	**
車線数	16.26	**	2.17	

この結果から、道路構造によりそこを走行する自転車利用者の属性が異なることが分かる。また、今回のデータはビデオ調査に基づいたものであることから、本来は追い越し挙動に影響を与える要因であると推測される「車道走行への慣れ」や「追い越し挙動に対する慣れ」といった項目が含まれていない。これらの項目も道路構造によって差が生じている可能性があり、その影響は回帰分析結果の道路構造による影響に含まれている。

(2) 追抜き車両との位置関係への影響分析

表-4の分析結果より、追抜き種類が追越幅の影響項目として抽出されたため、追い越し中の自転車を後方からの接近車両が追い抜く際の2者間の位置関係および相互のコンタクトを示す項目である「追抜き種類」に関して、その判断基準を得るために変数増加法による判別分析を行った。図-2に示すように追い抜きを2つに分類したところ、結果は表-7のようになった。

表-7 判別分析結果

判別の中率 76%	分析判別 並走 後続	全体		+ → 並走 - → 後続
		データ	判別	
	並走	46	18	64
	後続	7	33	40
全体		53	51	104

***: 0.1%
**: 1%
*: 5%

標準化判別係数		t	
定数項	0.395		2.42
相対速度	0.327	***	3.48
確認有無	-0.236	**	-2.67
レーン有無	-0.403	***	-3.41
追越幅	-0.291	**	-2.74
追抜き距離	-0.181	**	-2.59
車線数	-0.292	*	-2.40

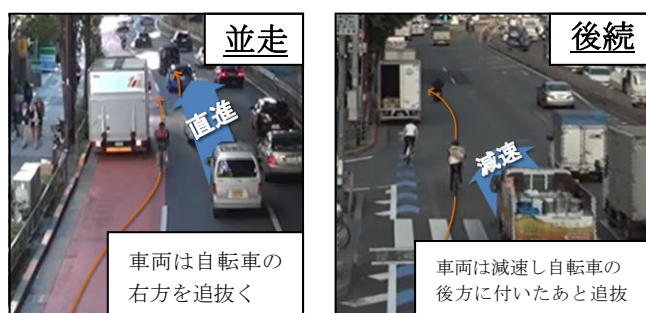


図-2 追抜き種類（左：並走追抜き、右：後続追抜き）

(3) 自転車の追越挙動に影響する要因の考察

(a) 駐車車両との位置関係について

重回帰分析により、2つの追越挙動項目に対して、レーンの有無と車線数および自転車速度が影響を与えているという結果が得られた。これらの変数は全て回帰係数の符号が一致していることから、追越挙動はより手前からより大きく膨らんで追い越す傾向とより駐車車両の近くから小さく膨らんで追い越す傾向の2つに大別できると考える。また、この傾向に加えて追越幅に関しては駐車幅・追抜き種類・高年齢層も影響を与えており、これは追越開始距離が駐車車両までの時間的余裕を表すものであるのに対して、追越幅は駐車車両と追抜き車両の双方に対する物理的距離であることから、これらの要因による影響がより明確に影響として抽出されたと考える。

(b) 追抜き車両との位置関係

判別分析により、6つの影響要因を抽出した。このうち、追越幅は追抜き種類の定義から直接的影響があり、重回帰分析によって二つの追越挙動項目の影響要因とされたレーンの有無と車線数および速度（相対速度）も影響要因として抽出されている。また、残りの変数は全て追抜き車両に関する変数である。自転車の追越挙動に関する変数と追抜き車両に関する変数が両方含まれていることから、この分析結果は両者の位置関係を表す追抜き種類を正しく説明できていると考える。

5. CSによる挙動再現性検証実験

本実験では、CSによる挙動が観測と同様の傾向を示すか検証を行うとともに、道路構造が追越挙動に及ぼす影響をより詳細に分析する。

(1) 実験の仮説

観測データを用いた分析での決定係数が高くないことに加え、

- ・道路構造ごとのサンプル属性の違い
- ・仮想空間による衝突への危機感の希薄化
- ・CSの操作性への不慣れ

等の理由から、複合的な影響要因を考慮した場合の追越挙動の再現性を検証するのは難しいため、個々の道路構造特性が及ぼす影響についてその傾向を考察する。また、2つの追越挙動項目について、追越幅はハンドル操作による値であるのに対し、追越開始距離はハンドルを切るタイミングで決まることから操作性による影響が少なく、より高い結果の再現性を得ることができると考える。

(2) 実験概要

本実験ではCS走行実験による追い越し挙動データとアンケート調査による追い越し時の意識対象データの収集を行う。実験の順序は以下のとおりである。

- ① アンケート（実走時の意識対象）
- ② CS走行実験
- ③ アンケート（CS走行時の意識対象）

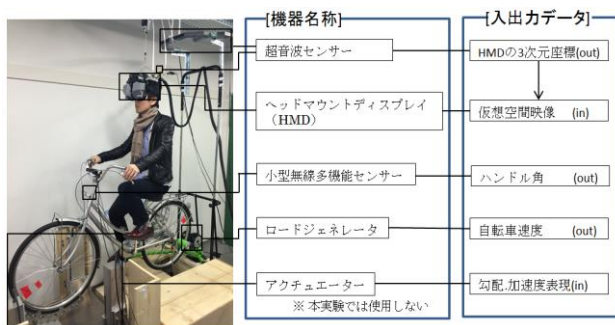


図-3 CS実験装置 (MORICS1)



図-4 HMD内映像

CS走行実験では図-3のCS装置を使用し、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) 内では図-4のような画面が映し出される。この仮想空間内では、レーン（有・無）車線数（1・多）駐車幅（200cm・250cm）を組み合わせた8パターンの追い越しポイントを用意し、被験者（25人、163サンプル、20代、男:女=22:3）にはこの全てのパターンについて追い越しを行ってもらった。

(3) 実験結果・考察

CS走行実験により観測と同様の項目のデータを得た。以下で挙動の再現性の検証と各項目の影響の検証を行った。

(a) 追い越し挙動特性の分布

追越開始距離、追越幅の2項目に関して、CS実験と観測による全てのサンプルをプロットしたものを図-5に示す。追越幅が50~200cm、追越開始距離が5~20mの範囲においてはどちらのサンプルも一様に分布している。また、図中の破線部は観測サンプルのみ、実線部は実験サンプルのみが分布するという傾向が得られた。破線部は高速のサンプルを示し、観測データのみが分布しているが、CS実験ではシミュサイクルのみを用いたために、そもそもこの範囲に分布すべきスポーツサイクル等のサンプルの属性がなかったことが要因であると考えられる。これに対し、実線部は、駐車車両と衝突もしくは極めて至近距離を走行する範囲であることから、観測ではほぼ存在することがなく、衝突しても実害のないCS実験のみで得られてしまったエラーデータであると考えられる。これらのことから、CSにおける追い越し挙動は、追越開始距離は実走と同様の傾向およびスケールが得られたが、追越幅はハンドル操作への不慣れや衝突のリスクがないことが影響し、CS上で

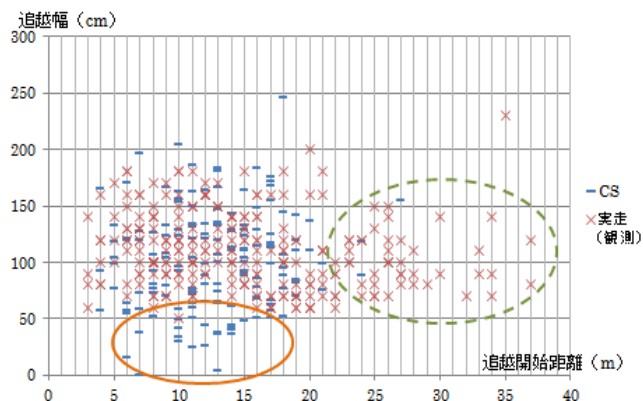


図-5 追越挙動特性の分布

はより近傍を追い越す外れサンプルが現れることが分かった。以降の実験データ分析ではこれらのデータは除去して分析を行っている。

(b) 個々の道路構造が追越挙動に及ぼす影響要因
道路構造に関する個々の項目に関し、追越挙動に対して影響があるかt検定を行った。影響項目はダミーデータであるレーン有無および車線数を対象とし、これらの項目が異なるサンプル間の追い越し挙動項目に有意差が見られるかを検定した。結果を表-8に示す。

結果として、レーン有無及び車線数は追越幅及び追越開始距離において有意差が見られた。このことから、これらの項目がCS実験における追い越し挙動の影響要因となっていると言える。しかし、その符号について、車線数は追越開始距離について、レーン有無は追越幅について観測データの分析とは逆の値を得るという結果が得られた。これは観測データが、道路ごとに別のユーザーによる挙動データであり、先述のように道路構造による影響にサンプルの属性の差による影響も含まれているのに対し、CS実験では異なる道路構造上を同被験者が走行しているために、サンプルの属性の変化が影響に含まれないためであると考えられる。

表-8 t検定結果

t値	レーン有無	車線数
追越幅	3.11	-1.98
追越開始距離	-3.21	5.62

(c) 追越挙動に対する複合的な影響要因

観測データを用いた重回帰分析と同様の説明変数を用い、実験データの追越挙動2項目を目的変数とした重回帰分析を行った。この分析では、実験データも観測データと同じ影響項目によって、同様の水準の関係性を述べるができるかを検証する。分析結果の決定係数を以下に示す。

* 補正済み決定係数

- 追越開始距離 : 0.299
- 追越幅 : 0.287

観測データの結果と比較して実験データの決定係数は低い結果となった。

また、2つの追い越し挙動項目についての決定係数にはば差はなかったことから、仮説では追越幅と追越開始距離のCSにおける再現性は異なる対象に起因するとしたが、今回の結果からこの再現性の低下の要因を特定するには至らなかった。

(d) 駐車車両追い越し時に意識する対象

アンケートによって、実走時とCS走行時において追い越しを行う際の意識対象を得た。図-6に結果を示す。

今回のデータはサンプル数25と少ないため、t検定により有意差を示したのは追抜き車距離と歩行者交通量のみであった。CS走行の際に、意識の対象が実走時と変わるということは、CSの仮想空間内でその対象が被験者に与える心理的影響が変化するということであるため、実走と大きく異なる項目については、今後のCS開発で改良を加える必要がある。

また、意識対象として多く挙げられていたのは、「後方確認」「追越幅」「追抜き車距離」「追抜き車速度」「自動車交通量」であった。これらは自動車交通量を除いて全て追抜き種類の影響要因とした項目である。一方で、自転車ユーザー自身は道路構造をさほど意識していなことも明らかとなった。

このアンケートデータから、追い越しを行う際に自転車ユーザーは、追越挙動への影響する要因には、意識的なもの、無意識のものの両方があり、道路構造は無意識の影響であることが明らかになった。このことから、追越挙動を考慮した走行空間整備において、CS実験による挙動分析での道路評価の必要性が示唆される。

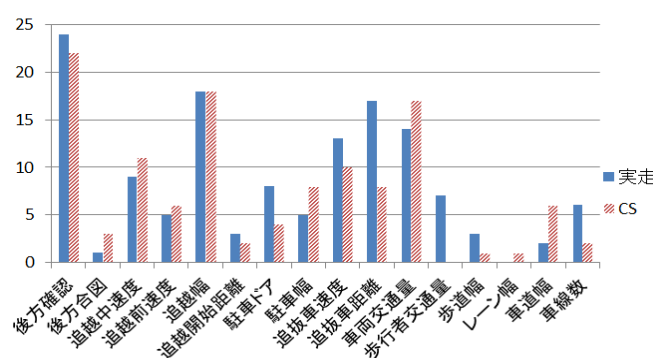


図-6 駐車車両追越時に意識する対象の回答数

6. 結論

本研究では、車道上での自転車による駐車車両の追越挙動に関し、自転車走行空間の特性を含む10項目が挙動への影響要因となっていることを明らかにし、また自転車ユーザー自身の意識の対象を明らかにした。

挙動への影響要因は、大きく自転車運転挙動・道路構造・追抜き車両による影響に分けられ、その中でも自転車速度・レーン有無・車線数はすべて同じ傾向の影響を与えていたことから、これらが追越挙動の主要因になっていることを示した。また、観測とCS実験のデータによる影響の違いから、CSによる挙動分析は個人属性の偏り等の影響を除き、より道路構造による直接的な影響を抽出できる可能性を示した。道路構造は無意識に影響を与える特性であることから、走行空間整備による評価手法はCSによる挙動分析が適している可能性が示された。さらに、CSの現状での挙動再現性の検討を行い、個々の影響要因の再現性の把握と複合的影響要因を考慮した際の問題点の抽出を行った。

CSの挙動再現性において複合的な影響要因を考慮した場合では、現状では有意なデータが得られなかったが、今後、センサー等の精度の向上や入力データ・再現項目の増加を図るなどハード面での開発を主な課題とする。また、近年の自転車交通の課題であり、本分析でも影響要因として抽出された高齢者の自転車利用者に対して、教育ツールとしてのCSの可能性の検討も必要となってくると考える。

参考文献

- [1] 第11回 自転車通行環境整備課題検討WG (2014.1.27)
- [2] 内海辰哉・松本修一・鈴木三法・川嶋・弘尚；「自転車事故低減にむけた回避行動に関する基礎的研究」，土木学会古墨計画学研究・講演集 Vol.39, CD-ROM (2009)
- [3] 長拓馬；「自転車利用者の心理を考慮した空間制約下での自転車通行帯設計」，東京大学卒業論文概要，(2013)
- [4] 相知敏行・山中英生・北潤弘康・神田佑亮；「自転車走行時の注視分析とサイン種別の評価」，土木学会土木計画学研究・講演集 Vol.43, CD-ROM, (2011)

A FUNDAMENTAL STUDY OF CYCLING ON ROADWAY WITH PARKING VEHICLES FOR IMPROVEMENT OF BICYCLE FACILITIES

Keisuke HOSOYA, Mio SUZUKI, and Tetsuo YAI