

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

原澤 拓也¹・山中 英生²・西本 拓弥³

¹非会員 さいたま市役所 (〒330-9588 さいたま市浦和区常盤六丁目4番4号)

E-mail: unisawa@gmail.com

²正会員 徳島大学教授 理工学研究部 (〒770-0814 徳島市南常三島2-1)

E-mail: yamanaka@ce.tokushima-u.ac.jp

³非会員 西松建設(株)九州支社 (〒810-0022 福岡市中央区薬院1-14-5)

E-mail: rainbow6613@gmail.com

安全で快適な自転車利用環境の創出に向けたガイドラインは、自転車専用通行帯や、車道混在による通行空間を中心として、ネットワークを形成する方針を示している。一方、多くの自転車利用者は、車道部を通行することに不安を感じているのが現実と思われる。車道部自転車通行空間の普及には“安全感”を確保するための交通条件や街路要素を明らかにすることが肝要と言える。本研究では、自転車が自動車に追い越される現象に着目して、追い越され時の安全感評価モデルを開発することで、追い越した自動車の速度、自転車との離隔幅、車種といった特性に加えて、自転車専用通行帯、カラー舗装、矢羽根、ピクトグラムなどの車道での通行空間表示が安全感に与える影響を定量的に明らかにした。

Key Words : *bicycle lane, bicycle probe system, cyclists' evaluation, Tokyo metropolitan area*

1. はじめに

国土交通省、警察庁は、平成24年11月に、安全で快適な自転車利用環境の創出に向けたガイドライン¹⁾を発表し、自転車ネットワーク整備の計画方法とともに、自転車専用通行帯や、矢羽根サインによる車道混在による通行空間を中心としてネットワークを形成する方針を示している。車道部を自動車と同じ方向で走行させることで、自転車本来の性能を発揮でき、しかも自動車から視認されやすくなる。また、交差点の安全性の面でも、双方向通行を認める従来の形式よりも、自動車との衝突危険性が低下することが期待されている。

一方で、多くの自転車利用者は、車道部を通行することに不安を感じているのが現実と思われる。車道部の自転車通行空間の普及には、こうした“安全感”を確保するための交通条件や空間要素を明らかにすることが肝要と言える。特に、車道部における自転車通行空間として、自転車専用通行帯、カラー舗装、矢羽根、ピクトグラムなど多様な施策が実施されており、それらが安全感に与える影響を明らかにすることが必要と考えられる。

以上の視点から、本研究では、自転車の車道走行において危険を感じる要因として、自転車が自動車に追い越

される現象に着目して、追い越され時の安全感評価モデルを開発することで、追い越され時の特性に加えて自転車通行空間整備などの街路特性の要因が安全感に与える影響を把握することを目的とした。

2. 従来の研究と本研究のアプローチ

自転車にとっての道路環境評価を目指した海外の既往研究では、車道部の交通量、速度、道路空間属性から評価する研究が多く見られる。例えば、古くはEpperson²⁾は道路の交通量および路面、道路構造の指標から評価するモデルを開発している。アメリカのAntonakos³⁾は552人の自転車使用者にサイクリングルートを選択実態を調査し、交通量や路面状態、自転車レーンやカーブ幅、風景の影響が関係することを明らかにしている。Landis et al.⁴⁾は自転車使用者の多様な道路区間での体感を計測し、区間の代表値としての交通量、スピード制限、交通構成比、舗装表面の状態、カーブ、レーン幅員がサービスレベルを決定する要因として定量化している。米国では、路側撮影ビデオをみたサイクリストが危険感を評価する研究をもとに、連邦道路局(FHWA)⁵⁾が自転車走行空間のサービ

スレベルを評価する指標BCI(Bicycle Compatibility Index)を提案している。また英国の自転車環境評価(Cycle Review)⁹⁾では、サービスレベルのチェックリストが提案されている。このリストのスコアは研究分析成果に加えて、経験的・試行的な数値が設定されている。これらの成果をもとに、自転車走行空間の形態選定の基準に自動車交通量と速度の2要因が多くで用いられている(諸田ら⁷⁾)。

日本での研究では、田宮ら⁸⁾は、実験走行路での大型車(散水車)による自転車追抜時の体感実験から、右側方間隔(自転車右端から車両端)で1.00m以上を自転車安全走行のための空間として提案している。また、亀井ら⁹⁾は、自転車ユーザーへの車道部走行時の危険を感じる場面についてのWEB意識調査から、性別、年齢、スポーツサイクル、シティサイクル利用者共通して「車が間隔を狭めて追い越す」、「車がスピードを出して追い越す」の項目が高い指摘率となっていることを示している。金¹⁰⁾は、Cycle Reviewのチェックリストと同様のBCC法(Bicycle Compatibility Checklist)を提案して、道路構造、路面等の総合的な要素で自転車道や自転車レーンの事例を評価して、自転車レーンの幅は1.0m以上が有用で、安心感や追い越しを考慮して幅1.5m以上が必要と考察している。さらに、鈴木ら¹¹⁾は金沢市で20～50歳代の被験者20名に実道路の車道を走行させ、区間の規制速度、路肩幅員と危険感との関係を調べて、自動車速度に応じた必要通行空間幅を提案している。

車道部の自転車安全性評価では、走行時体感やビデオ視聴による評価ランクを計測し、街路区間別に集計された体感と街路区間別物理的指標との関連を分析する手法が多く用いられており、追い抜かれ時などの即時的な現象について、体感と交通状況との関連を把握した例は少ない。即時的な現象での体感と交通状況の関連を扱う方法として、山中・亀井¹²⁾は、追い越された自動車の速度と自転車との離隔幅が計測できるプローブバイシクルを開発して、自転車走行環境の安全感の評価モデルとしている。ただし、徳島と金沢の調査で、自転車通行空間の整備施策が実施されている区間での調査が少なく、多様な整備手法の効果計測はできていない。

そこで本研究では、山中・亀井の開発したプローブバイシクルを用いて、自転車専用通行帯などの多様な自転車通行空間の整備が多く見られる東京都において走行調査を行うことで、追い越され時の安全感評価に自転車専用通行帯、カラー舗装、矢羽根、ピクトグラムなどの自転車通行空間の特性が与える効果を定量的に明らかにすることを目的とした。

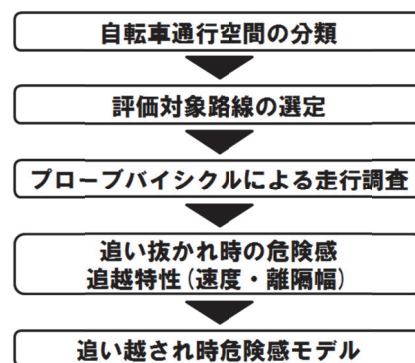


図-1 本研究の進め方

3. 調査の方法

(1) 調査対象区間の設定

図-1に研究の手順を示す、自転車通行空間を分類し、空間タイプを設定して、調査路線を抽出した。具体的には、東京23区内での自転車通行空間整備状況の調査結果をもとに、車道部の自転車通行空間設置路線について、歩道有無、両側車線数、車道第一通行帯幅員、自転車通行空間幅員に着目して空間タイプを設定している。

(2) プローブバイシクルによる走行調査

自転車速度、追い越す自動車速度、離隔距離を計測できるプローブバイシクルを用いて抽出した路線で走行調査を行った。また、追い抜かれるたびに、自転車運転者が安全感を1(安全)～7(危険)の7件法で記録した。

(3) 追い越され時の安全感評価モデルの開発

プローブバイシクル走行調査より得られた追越特性や道路特性と、自転車運転者が感じた安全感との関係をオーダードロジットモデルにより分析している。

4. 調査対象自転車通行空間の選定

(1) 自転車通行空間の整備状況調査

本研究では、東京23区内を対象に調査区間を選定した。多種の車道部の自転車通行空間が整備されており、車道部を走行するサイクリストが多いことが理由である。

国土交通省、東京都、23区の自転車通行空間整備担当課に依頼して、整備されている自転車通行空間の位置、タイプ(図-2を指定)を調査した。その結果、国交省、東京都、20区から回答を得た。整備タイプ別の路線数、延長を表-1に示す。自転車レーン、車道混在の自転車通行空間の整備が中心となっていることがわかる。

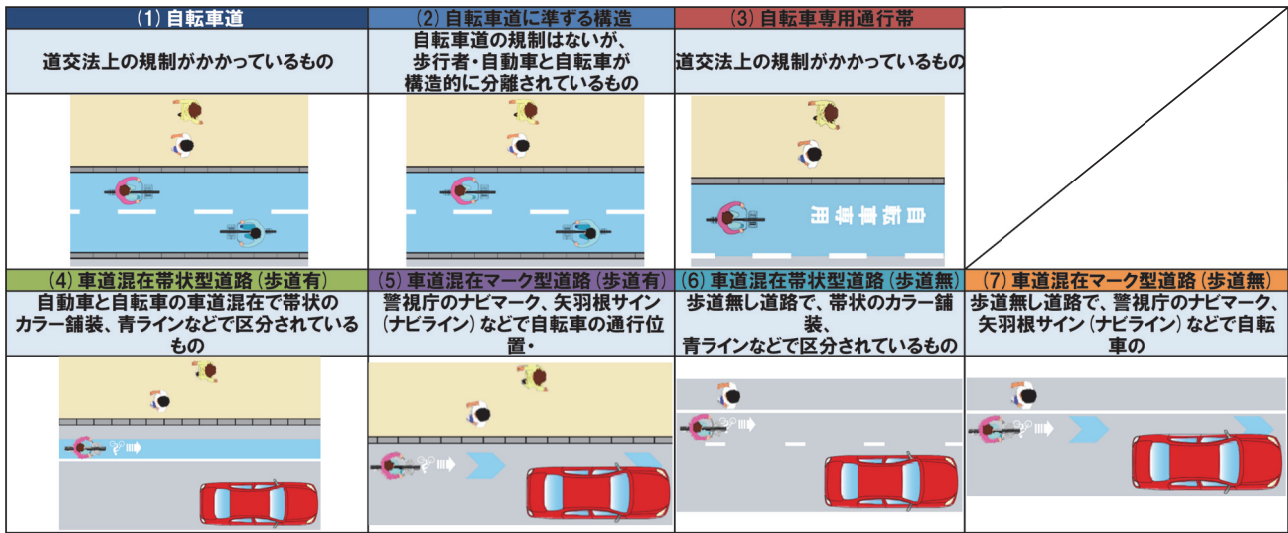


図-2 ヒアリングにもちいた自転車通行空間の分類

表-1 自転車通行空間別路線数・延長の集計結果

自転車通行環境整備形態	路線数	総延長 (m)
(1) 自転車道	1	290
(2) 自転車道に準ずる構造	1	390
(3) 自転車専用通行帯	20	15200
(4) 車道混在帯状型道路 (歩道有)	28	10580
(5) 車道混在マーク型道路 (歩道有)	16	7800
(6) 車道混在帯状型道路 (歩道無)	6	1450
(7) 車道混在マーク型道路 (歩道無)	7	3460
計	79	39170

(回答の得られなかった墨田, 千代田, 品川区を除く)

(2) 調査対象路線の選定

本研究では上記の7タイプのうち, (1)自転車道, (2)自転車道に準ずる構造を除いた5タイプ (表中赤字) を対象とした. さらに収集した整備路線について, 自転車通行空間幅員, 歩道有無, 両側車線数, 車道第一通行帯幅員に着目して, 表-2に示す20タイプに再分類した. ここで車線数は両側1車線(中央線無), 2車線(中央線有), 4車線以上, 第一通行帯幅員は2車線以上では4.0m以上・未満, 1車線道路では7.0m以上・未満, 自転車通行空間の幅員は1.0m以上・以下・なしをGoogle Earthから判別した.

幅1.0m以上の自転車通行空間がある場合は第一通行帯幅員は考慮していない. また, 収集した整備路線には歩道無しで1.0m以上の自転車通行空間は存在しなかった. 次にこの20タイプの整備箇所を地図上に記入して, プローブバイク走行調査ルートを選定した. 各タイプが複数調査できるようにしたところ, 15地区(船堀, 小岩, 新小岩, スカイツリー, 西巢鴨, 千石, 駒込, 池上, 田町, 東京タワー, お台場, 幡ヶ谷, 三軒茶屋, 恵比寿, 西葛西の周辺)での走行ルートに集約できた. 空間タイプ別の走行区間数を表-3に示す. 図-3は西葛西周辺の走行ルートの例である. また, 地区別の走行順の空間タイプを表-4に示す. 地区もこの順で走行した. 各被験者には固定した順序となるが, 空間タイプの順番の偏りはなく, 分析上では走行慣れの影響は少ないと考えた.

表-2 調査対象とする自転車通行空間のタイプ

歩道	両側車線数	車道第一通行帯幅員	自転車通行空間幅員		
			1m~	0~1m	0m
有	1	7m~	1	4	12
		~7m		5	-
	2	4m~	2	6	13
		~4m		7	14
無	1	4m~	3	-	15
		~4m		8	16
	2	7m~	-	9	17
		~7m	-	10	18
2	4m~	-	-	19	
	~4m	-	11	20	

表-3 自転車通行空間タイプ別の走行区間数

歩道	両側車線数	車道第一通行帯幅員	自転車通行空間幅員		
			1m~	0~1m	0m
有	1	7m~	3	1	2
		~7m		3	-
	2	4m~	7	8	9
		~4m		6	8
無	1	4m~	4	-	5
		~4m		2	6
	2	7m~	-	1	2
		~7m	-	3	1
2	4m~	-	-	2	
	~4m	-	2	6	



図-3 西葛西周辺のプローブバイク走行調査ルート

表-4 対象地区における走行順区間の空間タイプ

地区	走行路線のタイプ(走行順)	区間数
1	船堀	20
2	小岩	13
3	新小岩	1
4	スカイツリー	6
5	西巣鴨	1
6	千石	1
7	駒込	1
8	池上	11
9	田町	1
10	東京タワー	6
11	お台場	2
12	幡ヶ谷	1
13	三茶	2
14	恵比寿	4
15	西葛西	12

1m幅以上の自転車通行空間
同上1m未満
同上なし

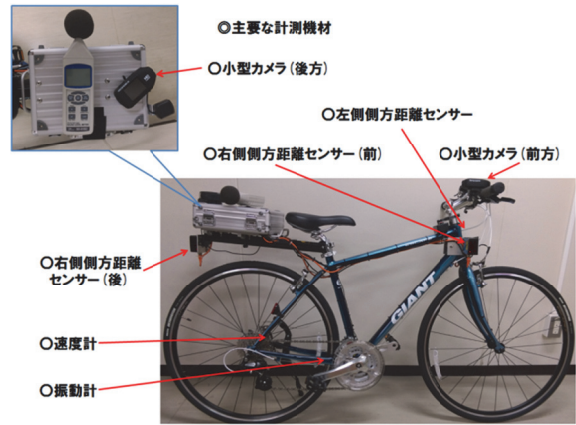


図-4 プローブバイク

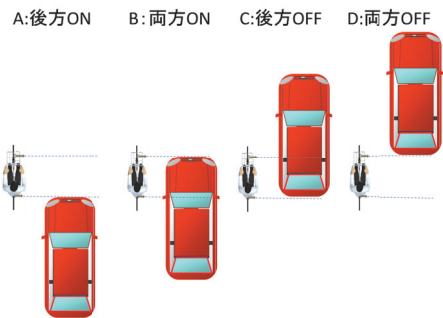


図-5 追抜き時のセンサ状態の変化

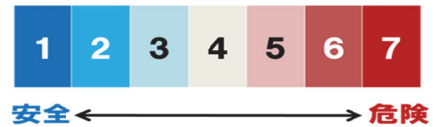


図-6 安全感ランクの категория

5. 追い越し事象の計測調査

(1) 計測用プローブバイクについて

自動車は自転車を追い越す際の特徴を計測するため、亀井らが使用したプローブバイクを基本に、改良モデル¹⁾を開発した。図-4に外観を示す。

この自転車により、以下の特性が計測できる。

a) 自動車速度

自転車右側の前後に取り付けた2つの距離センサーより、追い越した自動車が2センサー間を通過する時間を求め、相対速度を推計し、プローブバイクの走行速度より、自動車速度を推計した⁹⁾。

具体的には図-5に示す前後のレーザ距離センサー反応の時刻から、次式で追抜き自動車の相対速度と自転車速度をもとに自動車速度を推定した。

$$V_{car} = \frac{1.05}{t_{front} - t_{rear}} \times 3.6 + V_{bike} \quad (1)$$

ここで
 V_{car} : 自動車速度 (km/h)
 V_{bike} : 自転車速度 (km/h)
 t_{front} : 前センサー反応時刻 (sec)
 t_{rear} : 後センサー反応時刻 (sec)

式(1)で 1.05 はセンサー間距離(m)である。相対速度が速くなるほど速度の計測誤差は大きく、自動車が側方に現れた瞬間の時刻を 1/100 秒精度で計測できるとすると、相対速度 50km/h で計測誤差は 10%程度、相対速度 10km/h では 2.5%と推計される。

b) 離隔幅

右側の前後に取り付けられた2つの側方距離センサーより、自動車の離隔幅を計測した。本研究では、図-5に

示す自転車前後2つのセンサーそれぞれで状態変化が生じる前部通過、後部通過時の離隔幅のうち最小値を追い越され時の離隔幅としている。

c) 車種

自転車に取り付けたビデオから、追い抜きした自動車の車種を目視で確認した。

(2) プローブバイク走行調査

2015年9月16日～23日までの8日間でプローブバイク走行調査を行った。被験者3名(学生)が交代でルートを1～3周ずつ周回する方法で行った。被験者はいずれも男子学生(22-24歳)で、うち2名(A,B)はサイクリング部の属しており、また他の1名Cも日常にロードバイクを使用しており、全員、車道走行の経験者である。走行中、自動車に追い越される毎に、被験者は図-6に示す7件法で評価した安全感をボイスレコーダーに記録した。15地区の走行調査では1147ケースの追い越され挙動が計測された。表-5に安全感別の追い越され計測数を示す。距離センサーから速度、離隔幅を推計できたサンプルは811ケースで、計測率は70.7%であった¹²⁾。表から計測成功

表-5 安全感ランク別の追い越され挙動計測結果

安全感ランク	計測成功	計測不備	合計	計測率
1	215	103	318	67.6%
2	253	108	361	70.1%
3	168	51	219	76.7%
4	87	40	127	68.5%
5	63	28	91	69.2%
6	23	7	30	76.7%
7	2	1	3	66.7%
合計	811	336	1147	70.7%

表-6 追い越されが観測された区間の街路空間

地区区間	歩道	車線	空間タイプ	自転車空間	追い越され数	地区区間	歩道	車線	空間タイプ	自転車空間	追い越され数
1.1	有	2	14		37	8.4	有	1	4	ピクト	3
1.2	有	2	6	ピクト	57	8.5		2	11	ピクト	1
1.3	有	4	16		24	8.7	有	2	7	ピクト	20
1.4	有	2	13		32	8.9		2	11	矢羽根	3
1.5	有	2	14		4	8.10		1	9	矢羽根	1
1.6	有	2	7	ピクト	10	8.11		2	20		1
1.11	有	1	5	ピクト	1	9.1	有	4	8	矢羽根	73
1.13	有	2	2	カラー	2	10.1		4	15		18
1.14	有	2	6	ピクト	2	10.2	有	2	13		13
1.15	有	2	7	ピクト	1	10.3	有	2	6	矢羽根	5
1.16		1	5	ピクト	2	10.4	有	4	16		10
1.17		1	10	ピクト	1	10.5	有	4	16		23
1.20		2	6	ピクト	1	10.6	有	2	13		30
2.1	有	2	14		16	11.1	有	4	3	レーン	12
2.2	有	1	1	カラー	3	11.2	有	4	15		37
2.3	有	1	1	カラー	2	12.1	有	2	2	レーン	69
2.6	有	2	14		22	13.1	有	2	7	カラー	13
2.7	有	2	14		4	13.2	有	4	8	矢羽根	42
2.9	有	1	1	カラー	1	14.1	有	2	6	ピクト	24
2.11	有	1	12		2	14.2	有	2	7	ピクト	10
2.13	有	2	13		16	14.3	有	2	13		26
3.1	有	2	2	レーン	104	14.4	有	2	13		9
4.2		2	20		1	15.1	有	2	2	レーン	29
4.3	有	4	3	レーン	59	15.2	有	4	15		17
4.4	有	4	16		23	15.3	有	4	15		16
4.5	有	4	3	矢羽根	16	15.4	有	2	13		3
4.6	有	4	16		16	15.6		1	10		1
5.1	有	4	15		40	15.7	有	2	2	レーン	9
6.1	有	4	3	レーン	70	15.8	有	2	6	レーン	5
7.1	有	2	14		31	15.9	有	1	5	ピクト	6
8.2	有	2	7	ピクト	2	15.10	有	2	2	レーン	2
8.3		2	19		5	15.11	有	4	16		9

車線=両側車線数 4は4車線以上 レーン=自転車専用通行帯
 カラー=路肩男帯状カラー舗装 矢羽根=ナビライン有り ピクト=ナビマーク有り

表-7 自転車通行空間タイプ別追い越され挙動計測結果

歩道	車線数	第一通行帯幅員	自転車通行空間幅員	空間タイプ	被験者			
					A	B	C	
有	1	-	1m~	1	1(1)	5(3)	0(0)	
	2	-		2	73(55)	94(46)	48(27)	
	4	-		3	52(41)	71(55)	35(27)	
	2	7m以上	7m未満	~1m	4	2(2)	1(1)	0(0)
					5	7(5)	2(2)	0(0)
		6	19(14)		66(53)	9(5)		
		7	14(11)		26(15)	16(9)		
		4	46(34)		51(35)	18(12)		
		8	14(11)		26(15)	16(9)		
	1	7m以上	なし	なし	12	1(1)	1(1)	0(0)
					13	27(20)	92(71)	12(11)
					14	30(14)	73(56)	10(8)
15		31(23)			72(52)	25(20)		
16		31(22)			66(49)	6(6)		
20		1(1)			0(0)	1(0)		
無	7m未満	7m以上	~1m	9	0(0)	0(0)	1(0)	
				10	0(0)	2(1)	0(0)	
	11	1(0)		0(0)	3(2)			
	17	0(0)		0(0)	0(0)			
	1	7m未満	なし	なし	18	0(0)	0(0)	0(0)
					19	1(0)	1(0)	3(0)
		20			1(1)	0(0)	1(0)	
		20			1(1)	0(0)	1(0)	
合計					337(244)	623(440)	187(127)	

数値=追い越され回数観測値 ()内=離隔・速度計測可能サンプル数

のサンプルは危険感に関係なくほぼ一定していることがわかる。カイ二乗検定の結果、有意確率は0.25と危険感と計測率に関係があるとは言えない結果であった。また、被験者別の計測成功、不成功のカイ自乗検定でも有意確率0.56と被験者との関係は見られなかった。表-6には、区間別の追い越され回数、自転車通行空間タイプと構造を示す。追い越されの計測結果も空間タイプ、自転車走行空間には順序の偏りが無いことを示している。ただし、自転車通行空間タイプ・被験者別の追い越され挙動数と計測成功数を示した表-7でわかるように歩道有の2車線以上道路(赤字部分)で大半の追い越され挙動が計測されている。また、被験者による計測数の違いは周回数が異なるためである。

6. 追い越され時の離隔・速度・安全感の特徴

図-7に自動車速度、離隔幅、安全感ランクの散布図を示す。離隔幅が狭いと自動車速度が高い追い越しは少なく、離隔幅が広いほど安全感が高い傾向が見られる。図-8は、自動車速度、離隔幅別の安全感の分布を示している。離隔幅が小さいほど安全感の高いランクの割合が少

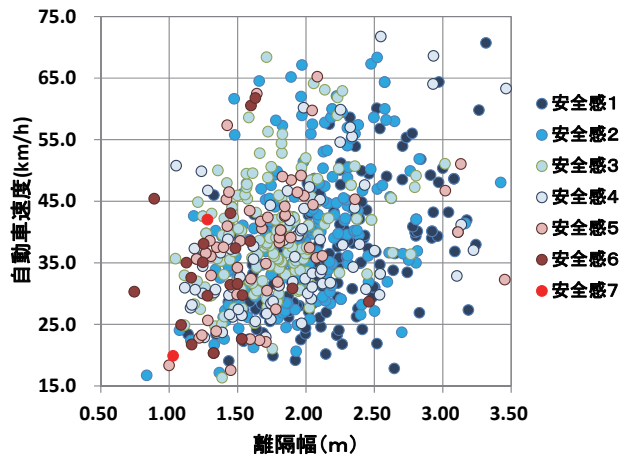


図-7 安全感・離隔幅・自動車速度の関係

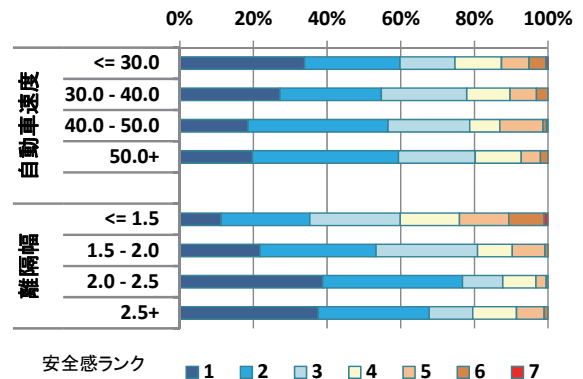


図-8 離隔幅・自動車速度別の安全感分布

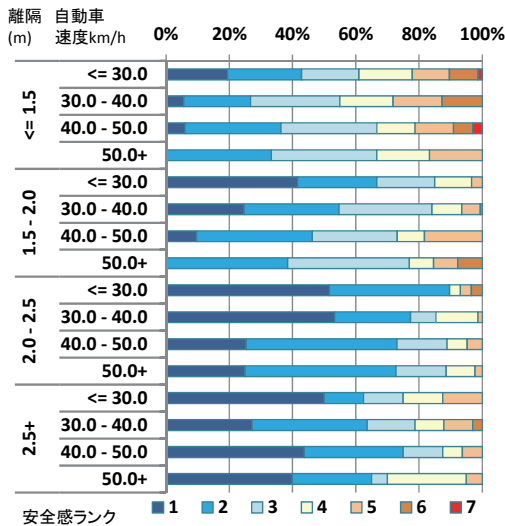


図-9 離隔幅別の自動車速度と安全感分布

なくなり、安全感の低い割合も増加している。また、自動車速度については、安全感が高い（ランク1）割合は速度が低下するほど減少する傾向が見られるが、ランク2以上の割合では速度との関係は明確でない。

図-9は、離隔幅別に自動車速度の違いによる安全感の分布を示している。離隔幅が2.5m未満では、速度が上がるほど安全感の高いランクの割合が減少する傾向が見られるが、2.5m以上では速度との関係は明確でないことがわかる。これらから、安全感は離隔幅に影響を受けるとともに、離隔幅が小さい場合に自動車速度の影響が生じていると言える。

7. 追い越され時安全感評価モデルの開発

(1) オーダーロジットモデル

安全感ランクと追い越され時の特性、街路特性との関係を以下のオーダーロジットモデルで分析した。

$$P_{ik} = \frac{\exp(\theta - V_i)}{1 + \exp(\theta_k - V_i)} = \frac{1}{1 + \exp(V_i - \theta_k)}$$

$$E(V_i) = \beta_1 Z_{1i} + \beta_2 Z_{2i} + \dots + \beta_n Z_{ni} \quad (2)$$

P_{ik} : 追越*i*の安全感がランク*k*以下となる確率

V_i : 追越*i*の安全感を説明する関数値

θ_k : ランク*k*のしきい値

Z_k : 説明変数(追い越され時特性, 街路特性)

β_k : パラメータ

(2) 評価要因指標データの作成

表-8に安全感評価モデルに用いた説明指標を示す。

表-8 安全感の説明指標

観測方法	変数	説明
体感指標	安全感	ランク6と7を6に集約 安全=1・危険=6
	離隔幅	自転車中心と自動車左端との距離(m)
	離隔幅(大型車)	離隔幅(m) 大型車固有 小型車=0
	離隔幅(小型車)	離隔幅(m) 小型車固有 大型車=0
	自動車速度	自動車速度(km/h)
	自動車速度(大型車)	自動車速度(km/h) 大型車固有 小型車=0
	自動車速度(小型車)	自動車速度(km/h) 小型車固有 大型車=0
	自転車速度	プロバイシクル走行速度(km/h)
	追越速度(相対速度)	追越時の相対速度(km/h)
	ビデオ観測	車種
大型車		大型車以外=0 大型車=1
交差点部		単路部=0 交差点部=1
専用通行帯指定		専用通行帯指定無=0 有=1
カラー舗装1m以上(専用通行帯外)		カラー舗装1m以上で専用通行帯指定を除く 無=0 有=1
専用通行帯+カラー舗装1m以上		専用通行帯指定またはカラー舗装1m以上 無=0 有=1
矢羽根		矢羽根無=0 有=1
ピクトグラム		ピクトグラム無=0 有=1
カラー舗装1m以下		カラー舗装1m幅以下 無=0 有=1
路面状態		路面状態良い=0 悪い=1
橋梁		橋梁無=0 有=1
カーブ		カーブ無=0 有=1
勾配		勾配無=0 有=1
駐停車		駐停車車両無=0 有=1
Google Earth 目測		歩道
	両側車線数4車以上	4車線以上=1 他=0
	両側車線数2車線	2車線=1 他=0
	自転車通行空間幅員	1m~1 0~1m=0.5 0m=0
	車道第一通行帯幅員7m	7m以下=0 7m以上=1
	車道第一通行帯幅員4m	4m以下=0 4m以上=1
路肩幅員	1m~1 0~1m=0.5 0m=0	

走行調査時の計測値として、離隔幅(小型車, 大型車), 自動車速度(小型車, 大型車), 自転車速度, 追越速度を抽出した。また、プローブバイシクルの前方ビデオより走行環境の指標として、追い抜き車両車種, 交差点部か否か, 規制, 路面状態, 橋梁, カーブ, 勾配, 駐停車の指標を作成した, またGoogle Earthより, 歩道, 両側車線数, 自転車通行空間幅員, 車道第一通行帯幅員, 路肩幅員を確認した。なお, モデル分析には追越されデータの多くを占める2車線以上の歩道付き道路でのサンプル(811中779サンプル)を用いた。また, 安全感についてはサンプル数の少なかったランク7を6に統合して, 6ランクでモデル推計を行っている。

(3) 速度, 離隔幅を用いた安全感評価モデル

離隔幅, 自動車速度を用いた安全感評価モデルを推定した結果を表-9に示す。モデル2は大型車, 小型車の固有変数を用いたモデルである。どちらのモデルもランクのしきい値に逆転はなく, 安全感ランク値は順序尺度として妥当な変動を示している。モデルの尤度比検定は0.05以下で有意で, 各パラメータでのWald検定では, 自動車速度(大型車)を除く項目で有意な要因となっている。離隔幅の係数は負で広いほど安全感が高まり, 自動車速度の係数は正で低いほど安全感が高くなる。また, モデル2では大型車ダミーの値が正で絶対値が大きく, 大型車は小型車より離隔幅, 速度に関係なく安全感に大きな影響を与えることがわかる。また, 自動車速度と離隔幅の関係では, 自動車速度の10km/h上昇が小型車の離隔幅で21cm(=0.032/1.533 * 10km/h), 大型車の離隔幅も21cm(=

0.019 / 0.901 * 10km/h)縮小と同等で車種の差は見られない。ただし、大型者の速度、離隔幅の係数は小型車より小さく、速度上昇、離隔幅減少が与える安全感への影響は小型車より小さくなる。たとえば、大型車との離隔幅50cmの縮小は小型車で29cm(=0.901 / 1.352 * 50 cm)の縮小と同等、大型車の速度10km/h上昇は小型車6.0km/h(= 0.019 / 0.032 * 10km/h)の上昇と同等となっている。徳島市・金沢市で計測した既存研究⁹⁾では大型車の速度の影響が小型車より大きくでいたが、今回の東京での計測では大型車の速度の影響が見られない結果となっている。大型車は、離隔幅が小型車より全体に狭く、都市内の大型車では離隔幅、速度ともに変動も小さい傾向があることなどが、こうした影響度の差の理由と推察される。

(4) 街路特性を考慮した安全感評価モデル

離隔幅や自動車速度等の追越特性に加えて街路特性を用いた安全感評価モデルの推定結果を表-10に示す。このモデルもランクしきい値に逆転はなく、尤度比検定の結果も有意である。モデル3でみると、各パラメータでのWald検定において、離隔幅(大型車)、自動車速度(大型車)、車道第一通行帯幅員4m、専用通行帯指定、を除外項目で有意確率が0.05以下で有意となっている。専用通行帯指定、カラー舗装1m以上(専用通行帯外)、矢羽根の係数は負で、設置されている路線では安全感が高まる方向が推計されている。特にカラー舗装1m以上(専用通行帯外)の係数の絶対値が他に比べ大きく、Wald検定結果も有意で、他に比べて高い安全感の改善効果があることが示されている。一方で、ピクトグラムはむしろ安全感を低める傾向が推計されている。橋梁と駐停車では係数が負で橋梁や駐停車車両は安全感を低める。また、カラー舗装1m以上(専用通行帯外)がある場合はない場合に比べて、小型車離隔幅で49cm(0.734/1.499)減と同等となっている。駐停車車両がある場合はない場合に比べて、小型車離隔幅で42cm(0.632/1.499)増と同等となっている。

次に、モデル4は、第一通行帯の余裕空間など道路構造要因と相関がある橋梁、駐停車の要因を除くとともに、利用者に見分けが付きにくい自転車専用通行帯とカラー舗装の区別をせずにとめた場合である。この場合の方がモデル3に比べて各変数のWald検定の有意確率が改善している。このモデルにおいて、車道第一通行帯幅員4m以上、専用通行帯+カラー舗装1m以上の係数は負で他の要因より絶対値が大きく、安全感を高める重要な要因であることが確認できたと言える。

8. 結論

追い越され時の安全感評価モデルより1m以上のカラ

表-9 速度、離隔幅を用いた安全感評価モデル

	モデル1		モデル2		
	推定値	p	推定値	p	
離隔幅(m)	-1.493	0.000			
離隔幅(大型車)(m)			-0.901	0.043	
離隔幅(小型車)(m)			-1.533	0.000	
自動車速度(km/h)	0.025	0.000			
自動車速度(大型)			-0.019	0.390	
自動車速度(小型)			0.032	0.000	
大型者ダミー			2.145	0.035	
ランクしきい値	ランク1	-3.034	0.000	-2.731	0.000
	ランク2	-1.530	0.000	-1.173	0.000
	ランク3	-0.470	0.145	-0.057	0.001
	ランク4	0.375	0.254	0.821	0.868
	ランク5	1.742	0.000	2.206	0.020
初期尤度	2355.0		2364.7		
最終尤度	2263.7		2230.6		
尤度比	0.039		0.057		
尤度比 有意確率	0.000		0.000		
McFadden R2乗	0.038		0.056		
サンプル数	791		791		

表-10 街路特性を考慮した安全感評価モデル

	モデル3		モデル4		
	推定値	p	推定値	p	
離隔幅大型車	-0.829	0.064	-0.782	0.080	
離隔幅小型車	-1.499	0.000	-1.447	0.000	
自動車速度大型車	0.008	0.072	0.013	0.157	
自動車速度小型車	0.043	0.000	0.038	0.000	
大型者ダミー	2.140	0.036	2.071	0.042	
車道第一通行帯幅員4m	-0.296	0.119	-0.493	0.004	
専用通行帯+カラー舗装1m以上			-0.684	0.061	
専用通行帯指定	-0.222	0.263			
カラー舗装1m以上(専用通行帯外)	-0.734	0.043			
矢羽根	-0.287	0.021	-0.270	0.024	
ピクトグラム	0.568	0.010	0.662	0.003	
橋梁	3.897	0.000			
駐停車	-0.632	0.002			
ランクしきい値	ランク1	-2.628	0.000	-2.630	0.000
	ランク2	-1.003	0.005	-1.042	0.003
	ランク3	0.164	0.644	0.093	0.792
	ランク4	1.074	0.003	0.982	0.007
	ランク5	2.486	0.000	2.377	0.000
初期尤度	2364.7		2364.7		
最終尤度	2186.1		2213.9		
尤度比	0.076		0.064		
尤度比に対する有意水準	0.000		0.000		
McFadden	0.074		0.063		
サンプル数	791		791		

一舗装と矢羽根のある路線では、追い越され時に同じ離隔幅、速度でも安全感が高まること、特に第一通行帯の幅員、カラー舗装は効果があることが分かった。今後の課題としては、プローブバイシクルの計測精度を上げること、走行実験被験者の拡大、自転車の種類等による個人・個体差を考慮したモデルを開発する必要などがあると考えられる。特に追い越され時の安全感には、左側側の自動車との関係だけでなく、自転車の右側の空間幅なども考慮する必要があると考えられ、これらの考慮も今後の課題と言える。

補注

[1] 従来モデルから自転車を新車に交換するとともに、ブレーキ、スピード用のセンサーを交換、震動等への対

策のため取り付け方法を改良した。本研究で用いた計測機能の基本的性能は従来モデルと同等である。

[2] 計測不能となるケースの大半は、図-5に示すように前後センサーが時間差をもってOFF-ON-OFFとなる現象が捉えられない場合である。振動等でセンサー計測ができなかったためと思われる。また、センサーが短時間でONまたはOFFとなるノイズによる計測ミスも生じている。車両通過時に見られるノイズは車高の高い大型車でセンサーが側面の凹凸を計測するためなどと考えられる。こうしたノイズについてはフィルターを設定して除去したが、一部除去しきれないケースも残っていると考えられる。また、計測結果から追い抜いた自動車の速度が15km/h未満、75km/hを越えるサンプルは除外している。

謝辞：本研究は科学研究費基盤研究(B) 25289166(2013-2015年)の補助を使用して調査・分析を実施し、科学研究費基盤研究(A) 16H02369 (2016-2019年)の一環として引き続き分析を進めている。

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の創出に向けたガイドライン，2012。
- 2) Epperson, B.: Evaluating suitability of roadways for bicycle use, toward a cycling level-of-service standard, *Transportation Research Record*, No. 1438, pp. 9-6, 1994.
- 3) Antonakos, C. L.: Environmental and travel preferences of cyclists, *Transportation Research Record*, No. 1438, pp.

25-33, 1994.

- 4) Landis, B. W., Vattikuti, V. R. and Brannick, M. T.: Real-time human perceptions: toward a bicycle level of service, *Transportation Research Record*, No. 1578, pp. 119-126, 1997.
- 5) FHWA: The Bicycle Compatibility Index: A Level of Service Concept, Final Report, 1998.
- 6) IHT: Guidelines for Cycle Audit and Cycle Review, UK., 1998.
- 7) 諸田恵士，大脇鉄也，上坂克巳：自転車道及び自転車レーンの適用範囲に関する一考察，土木計画学研究・講演集，Vol. 39, 2009.
- 8) 田宮佳代子，山中英生，山川仁，濱田俊一：車道端走行を想定した自転車通行空間の幅員に関する実験，土木計画学研究・講演集，Vol. 23, 2000.
- 9) 亀井壤史，山中英生，中嶋悠人：自転車の車道走行時における危険感の要因分析，土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集，pp. 265-266, 2013.
- 10) 金利昭：自転車利用者の満足度を用いた自転車レーンの評価とサービス水準の設定，日本都市計画学会学術研究論文集，Vol. 44-3, pp. 91-96, 2009.
- 11) 鈴木邦夫，森本励，高山純一，片岸将広，松矢裕一郎：利用者評価からみた自転車通行空間の幅員と自動車走行速度の関係に関する考察～金沢市内における自転車走行調査結果より～，土木計画学研究・講演集，No. 45, 2012.
- 12) 山中英生，亀井壤史：プローブバイク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・講演集，No. 47, 2013.

(2016. 2. 26 受付)

DEVELOPMENT OF EVALUATION MODEL FOR SAFETY PERCEPTION IN PASSING BY VEHICLES ON CARRIAGEWAY CYCLING

Takuya HARASAWA, Hideo YAMANAKA and Takuya NISHIMOTO

“Guidelines for creating a safe and comfortable bicycle friendly environment” in 2012 adopted a policy that bicycle networks should be created mainly by bicycle lane type, and shared space on carriageway. Street design to secure safety sense of cyclists is needed because most of cyclists feel danger when they cycle on carriageway. The aim of this study is to build evaluation models from a viewpoint of bicycles’ safety perception in order to clear the condition for the safety sense of cyclists in passing by vehicles. In conclusion, the effects by several features of passing vehicles and streets are measured, and colored bicycle lane itself can improve safety sense of cyclists even the distance and velocity of passing vehicles are same.