

狭幅員二車線道路における 自転車の危険回避行動発生予測モデルの構築

木梨 真知子¹・阪口 亮太²・清田 勝³

¹正会員 佐賀大学准教授 低平地沿岸海域研究センター (〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町1)
E-mail: kinashi@ilt.saga-u.ac.jp

²非会員 株式会社トキワ・シビル (〒812-0882福岡県福岡市博多区麦野1-22-3)

³正会員 佐賀大学大学院教授 工学系研究科 (〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町1)
E-mail: kiyotam@cc.saga-u.ac.jp

我が国では、自転車と自動車の走行空間が完全に分離された道路が少なく、自転車利用者が後方から追い越していく自動車の脅威を感じつつ、狭い側溝蓋上を走行せざるを得ない状況が多発している。側溝蓋には段差や傾斜があり走行するには危険であるが、このような狭幅員道路の早急な拡幅は極めて困難である。現道を活かしつつより安全な走行空間に改善するためには、狭幅員道路における自転車の挙動を精査する必要がある。本研究では、自動車が自転車を追い越す際、自転車が側溝蓋上に移動する行動を危険回避行動と定義し、狭幅員二車線道路における自転車の危険回避行動の実態を明らかにするとともに、非集計モデルを適用して危険回避行動発生予測モデルの構築を試みた。その結果、回避行動発生確率を高める要因は自動車の速度よりもむしろ自動車との距離の近さであることが判明したため、走行空間の安全性向上には側溝蓋の狭幅あるいは整備が有効であることが示唆された。

Key Words : *Bicycle traffic safety, roadside gutter, narrow two-lane road, behavioral model*

1. はじめに

自転車は環境に優しく、安価で便利な交通手段である。しかしながら、我が国では自転車専用の走行空間が整備されている道路はわずか0.3%¹⁾、歩行者や自動車とスペースを共用する道路が大部分を占めている。その結果、歩道では歩行者と自転車の事故や交通錯綜が頻繁に発生し、他方、狭い路側帯を通行する自転車利用者は、後方から追い越していく自動車の脅威を感じつつ、街渠蓋(側溝蓋)上か、側溝と道路の境界を走行せざるを得ない状況が多発している。側溝蓋やその境界部分には段差や傾斜があるため走行するには劣悪な環境であり、自転車利用経験の浅い子供や自転車を漕ぐスピードが遅くふらつきやすい高齢者は、自動車や自転車との接触・衝突事故や転倒の危険により一層さらされている。以上のような状況下において安全な自転車走行空間の確保は喫緊の課題であるが、自転車道や自転車レーンの拡幅を伴う本格的な工事には長時間を要する。したがって、応急的措置として現道を生かしつつより安全な走行空間に改善する必要があるが、そのためには、狭幅員道路における自転車の挙動を精査し、走行空間の安全性向上に資する

要因を把握する必要がある。

一般に、自転車利用者は、側方を自動車が通過するとき安全を確保するため危険レベルに応じて回避行動を取ると考えられる。このような自動車の影響による回避行動に着目した既存の研究成果として、清田ら²⁾は、自転車が自動車とすれ違うときの危険レベルを定量的に評価している。また厲ら³⁾は、歩行者を対象として電柱の影響を受けつつ自動車とすれ違うときの回避行動をモデル化している。これらの研究はいずれも自転車あるいは歩行者が自動車と対面してすれ違うケースを取り扱っている。しかしながら、改正道路交通法の施行により、歩道のない道路において自転車は原則として路側帯を左側通行しなければならないため、自転車が自動車と対面してすれ違う場面よりもむしろ後方から自動車に追い越される場面における自転車の挙動に着目すべきである。これは、自動車に後方から追い越される場合には自転車利用者が自動車の走行状況を十分に把握できないため、すれ違う場合とは挙動が異なる可能性が高いからである。

そこで本研究では、後方から追い越してくる自動車に対する自転車利用者の危険回避行動の発生メカニズムを解明するとともに、危険回避行動の発生確率を算定する

モデルを構築する。さらに、自転車と自動車の側方間隔や自動車の速度を変更した際の効果を危険回避行動発生確率の変化の面から評価することを目的とする。

2. 研究方法

自転車の回避行動に影響を与える要因は様々である。狭幅員道路上での歩行者の挙動に着目した厲ら³⁾の研究では、自動車に対する歩行者の回避行動に影響を与える要因として内部要因と外部要因を挙げている。内部要因は歩行者の属性であり、外部要因は車の速度、車と歩行者との距離(余裕幅)、路上条件(車とすれ違う場所)、歩行者の位置などである。自動車に対する自転車の回避行動に対しても、上記のような内部要因と外部要因が影響するものと思われる。

そこで本研究では、自転車が狭幅員道路の路側帯を左側通行するときの回避行動の内部要因として自転車利用者の年齢および性別を、外部要因として追越車の速度、追越車の走行位置、反対車線の対向車の有無を想定し、これらの観測結果に基づき自転車の回避行動への影響を分析することとした。対向車の有無に着目したのは、本研究で対象とする狭幅員道路の場合、対向車がないときに追越車が反対車線にはみ出して自転車を追い越すケースが想定され、車両の走行位置に間接的に影響を与えることを考慮したからである。表 1 は、調査の観測項目をまとめたものである。

表 1 観測項目の内容

観測項目	具体的な観測内容
1. 自転車の挙動	・ 走行位置 (道路左端から自転車のタイヤまでの距離)
2. 内部要因	・ 自転車利用者の年齢 (高齢/非高齢) ・ 自転車利用者の性別 (男性/女性)
3. 外部要因	・ 自転車追い越し時の自動車の走行位置 (車道外側線右端から車両の左タイヤまでの距離) ・ 自転車追い越し時の自動車の速度 ・ 対向車 (有/無)

本研究では、狭幅員の二車線道路で、かつ自転車および自動車の交通量が多いため自転車の回避行動が発生しやすい県道を調査対象区間とした。図 1 は調査対象区間の道路幅員を示したものである。この区間は佐賀大学本庄キャンパスの北側に位置しており、見通しが良い直線道路で、通勤・通学時間帯の自転車利用者が非常に多いものの歩行者は比較的少ないのが特徴である。そのため、道路上の見通しの悪さによる自動車の徐行や進路変更、歩行者の影響は後の分析において考慮しなくてよいものとする。また、路側帯幅 1.1m のうち側溝幅が 0.5m

を占めることから、自転車が安全に通行できる幅は極めて狭く、本研究の趣旨に合っている。本研究では、自動車に追い越される自転車が側溝蓋上(道路左端から 0.5m 以内)に移動する行動を危険回避行動と定義する。

観測にあたっては、できるだけ道路利用者の自然な状態を観測するために工夫を施した。まず観測前に路面にテープで図 2 のようにマスキングし、この状態で対象道路をビデオカメラで撮影した。そのままビデオカメラを固定した状態でマスキングテープを剥がし、自転車や自動車の挙動を撮影した。次に、撮影した動画に事前に撮影したマスキングテープの位置を写真 1 のように動画編集ソフトで挿入し、自転車や自動車の走行位置を読み取った。自動車の速度は、マスキングテープで示した横断線を通る時刻をビデオカメラから読み取って算出した。このようにすることで、観測行為自体が自転車や歩行者の挙動に影響を与えないようにした。観測日時は晴れた日の通勤・通学時間帯(7:00~9:00 の 2 時間)とし、2013 年 7 月 18 日から 2015 年 12 月 9 日のうち計 6 日間行った。観測された自転車交通量は 431 台で、うち自動車による追越しがあったのは 277 台であった。

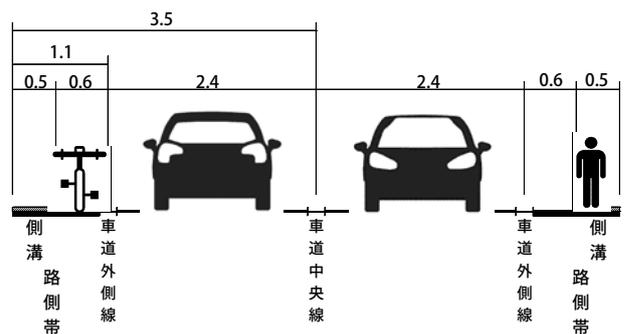


図 1 道路断面図 (単位 : m)

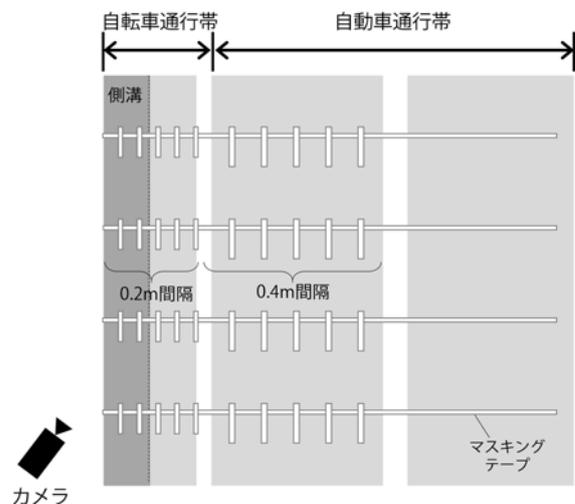


図 2 ビデオカメラを用いた観測方法



写真1 観測区間の状況と動画編集の状態

3. 観測結果

(1) 追越車の有無と自転車の走行位置の関係

図3は追越車の有無と自転車の走行位置（道路左端からの距離）の関係を示したグラフである。追越車がない場合、自転車の走行位置は道路端から0.8~1.0mの範囲に分布しており、平均走行位置は0.87mである。路側帯幅は1.1mであるから、自転車は車道外側線の直ぐ傍を通行していることになる。一方、追越車がある場合は道路端から0.6~0.8mの範囲に分布している。平均走行位置は0.75mであることから、追越車がない場合よりも走行位置が0.12m左側に移動していることがわかる。したがって、自転車利用者は追越車の危険を覚悟して走行位置を変化させているといえる。さらに、追越車がある場合、23.8%の自転車利用者が側溝蓋上か道路との境界上を通行しており、11.6%が車道外側線上か自動車通行帯を通行している。つまり、側溝蓋を除いた通行部分が0.5mしかない狭い路側帯では、35.4%の自転車利用者が通行上危険な位置を走行していることがわかる。

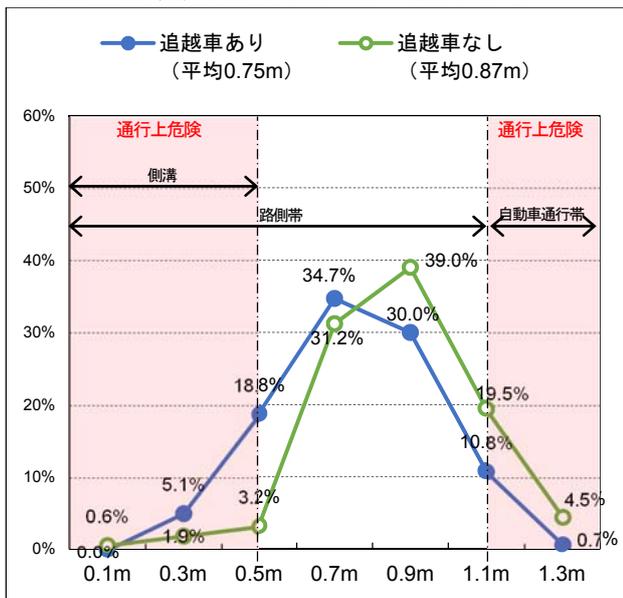


図3 追越車の有無と自転車走行位置の関係

(2) 自転車の危険回避行動に影響する要因

a) 内部要因と危険回避行動の関係

図4は性別と危険回避行動の関係、図5は年齢危険回避行動の関係をそれぞれ示している。性別による危険回避行動発生確率は、男性が女性に比べてやや高いものの、概ね同程度であった。また年齢による危険回避行動発生確率は、非高齢者が高齢者と比較して高い結果となった。このことから、非高齢者のほうが外部要因による危険を知覚しやすく回避行動を取りやすい傾向にあると推察される。

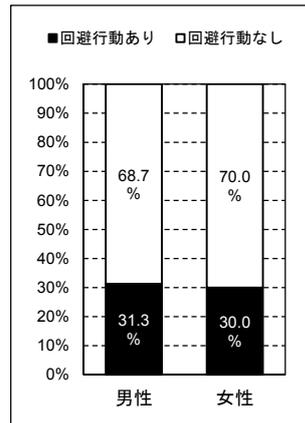


図4 性別の危険回避行動発生割合

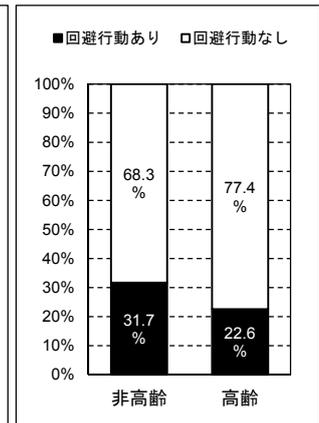


図5 年齢別の危険回避行動発生割合

b) 外部要因と危険回避行動の関係

図6は追越車の走行位置（車道外側線の右端からの距離）と危険回避行動の関係を示したものである。追越車の走行位置が車道外側線から1.1m未満の場合、半数以上の自転車が回避行動を取っていることがわかる。一方、追越車の走行位置が1.1m以上の場合、回避行動を取る自転車は約2割に減少する。このことから、自転車利用者は追越車の危険を感じて走行位置を変化させており、回避行動を抑制するには自転車に対する自動車の側方間隔が1.1m以上必要であるといえる。

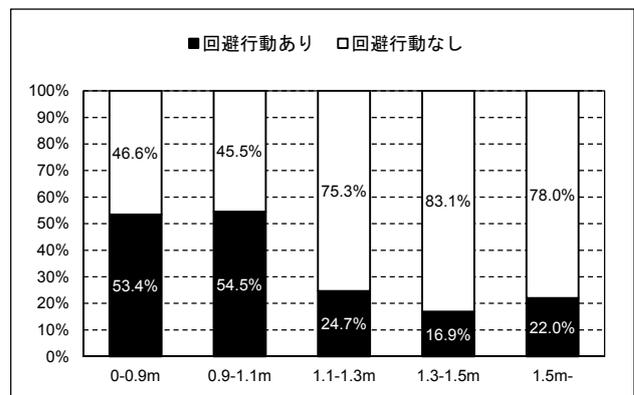


図6 追越車の走行位置と危険回避行動発生割合

図7は追越車の速度と危険回避行動の関係を示したものである。追越車の速度が25km/h未満の場合に自転車が回避行動をとる割合は29.6%であるが、25km/hを超え

ると回避行動発生割合が高くなる。しかし追越車の速度が 35km/h 以上 40km/h 未満では回避行動は 20.9%しかみられなかったことから、追越車の速度が速いほど危険回避行動を誘発するとは単純に言い切れない。これは、追越車の速度が速いと自転車が危険を知覚しづらく、危険回避行動に結びつかないケースが少なくないことを示唆していると思われる。

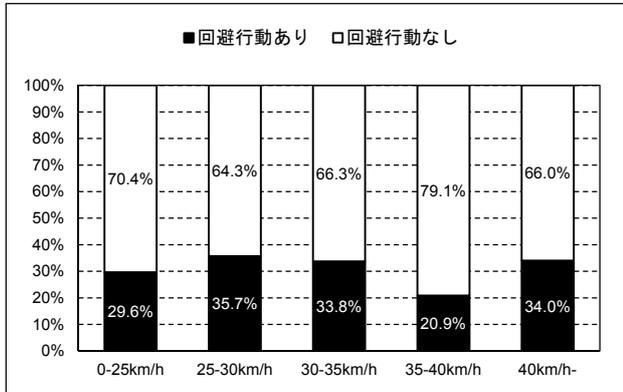


図 7 追越車の速度と危険回避行動発生割合

図 8 は対向車の有無と危険回避行動の関係を示している。反対車線に対向車がない場合、回避行動は 24.0%しか発生しない。一方、反対車線に対向車がある場合は、危険回避行動は 57.1%にまで上昇する。この理由として、対向車がない場合、前方に自転車を発見した追越車が反対車線にはみ出して自転車を大きく回避しながら通行するため、自転車が危険回避行動を取る必要性が低くなるためと考えられる。しかし対向車がある場合は、追越車が反対車線にはみ出すことが難しいために自転車をあまり回避できず、結果として自転車の危険回避行動の必要性が高まるためと考えられる。

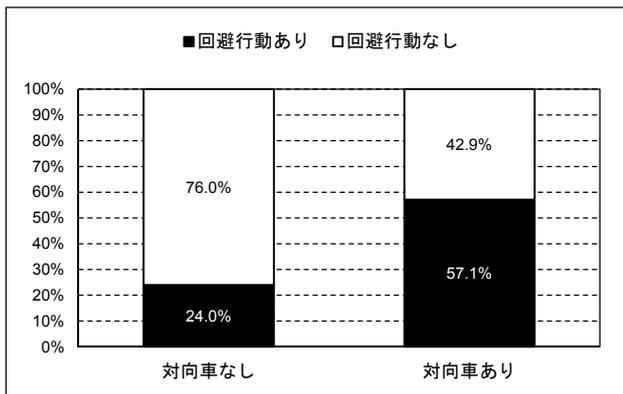


図 8 対向車の有無と危険回避行動発生割合

4. 危険回避行動発生予測モデル

ある個人属性を持つ自転車利用者が追越車の存在に気づき、外部要因や自身の走行位置を考慮してそのまま直進した場合の危険レベルを直感的に算定して回避行動を

とるか否かを判断するという危険回避行動発生メカニズムを仮定する。すなわち、主観的な危険レベル (D) が自転車利用者の内部要因で表される閾値 (D_0) を超えると、自転車利用者は危険回避行動を取って外部要因からもたらされる危険レベルを下げようとする。このように考えれば、外部要因による危険レベル D と内部要因による閾値 D_0 を比較してその大小を判別するモデルを作成すればよいことになる。この考え方は清田らの提案によるもので、自動車と対面してすれ違う自転車の回避行動²⁾や自転車とすれ違う歩行者の危険度⁴⁾を予測するために非集計ロジットモデルを採用している。この理論を援用すると、危険レベル D が閾値 D_0 を超える確率 P は次のように与えられる。

$$P = \frac{\exp(D)}{\exp(D) + \exp(D_0)} \quad (1)$$

ここで、危険レベル D は外部要因 (自動車の挙動)、つまり、追越車の走行位置、追越車の速度、対向車の有無、の 3 変数から成る線形式で表されると仮定すると、(2)式が成り立つ。

$$D = \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i \quad (n=3) \quad (2)$$

ここに、 α_i はデータから推定すべきパラメータであり、 x_1, x_2 はそれぞれ、追越車走行位置 (車道外側線右端からの距離) (cm)、追越車速度 (km/h) である。また、 x_3 は対向車の有無を表すダミー変数で、 $x_3 = 0$ (対向車なし)、 $x_3 = 1$ (対向車あり) である。

次に、閾値 D_0 は内部要因 (自転車利用者の個人属性) の関数で表されると考える。すなわち、自転車利用者の主観的な危険レベルが全て同レベルであったとしても、属性の影響を受けて危険回避行動を取る利用者と危険回避行動を取らない利用者があることを意味する。この閾値 D_0 は性別および年齢の関数で表されると仮定し、 D_0 を(3)式のように定義する。

$$D_0 = \sum_{i=1}^n \beta_i y_i \quad (n=2) \quad (3)$$

ここに、 β_i はデータから推定すべきパラメータである。 y_1, y_2 はそれぞれ自転車利用者の性別、自転車利用者の年齢を表すダミー変数で、 $y_1 = 0$ (男性)、 $y_1 = 1$ (女性)、 $y_2 = 0$ (非高齢者)、 $y_2 = 1$ (高齢者)、である。

以上の手続きにより、観測から得られたデータを非集計ロジットモデルに当てはめて得たパラメータ α_i, β_i の推定結果と t 値を表 2 に示す。 t 値が 1.96 に満たない変数もあるが、的中率は 72.6%、尤度比は 0.210 と再現性はまずまずなモデルであるといえる。

このモデルから、外部要因として、追越車走行位置が

自転車に近く、対向車があり、追越車速度が高くなれば自転車の危険回避行動発生確率は増加することがわかる。

表2 パラメータ推定結果

変数名	推定値	t 値
危険レベルD		
追越車走行位置 (α_1)	-0.0106	-5.7183
追越車速度 (α_2)	0.0070	1.4754
対向車ダミー (α_3)	1.0813	3.6058
閾値 D_0		
性別ダミー (β_1)	0.2858	1.2104
年齢ダミー (β_2)	1.3170	2.6858
サンプル数		277
尤度比 ρ^2		0.210
的中率		72.6%

なお、前述のとおり、清田らは自動車と対面してすれ違う自転車の回避行動を予測するモデル式を構築しており、次のような知見を得ている。①すれ違う自動車の速度が自転車の回避行動に強い影響を与える。②高齢者は非高齢者に比べて回避行動を取る確率が高い。③自転車と自動車の距離（余裕幅）が 0.5m 以下ならばほとんどの場合回避行動が発生する。しかしながら、本研究で構築したモデル式からは、追越車速度の t 値が 1.96 に満たないことから判断して、自動車の速度が回避行動に大きな影響を及ぼすとは言い難いことや、高齢者は非高齢者に比べて回避行動を取る確率が低いことが結果として導かれた。このことから、自動車と対面してすれ違う場合と追い越される場合とで自転車の回避行動に及ぼす影響が異なることが明らかとなった。これは、自動車に後方から追い越される場合には、特に高齢の自転車利用者が追越車の走行状況を十分に知覚できないことがモデルに反映されたものと思われる。

5. 危険回避行動発生確率からみた改善案の検討

年齢や性別、対向車の有無をあらかじめ決定すると、前項で構築した(3)式の危険回避行動発生予測モデルを用いて、代表的な自動車速度と自動車走行位置に対する危険回避行動発生確率を算定することができる。ここでは、代表的な自動車の速度を 10~50km/h、自動車の走行位置を車道外側線右端から 0.25~0.95m とし、反対車線に対向車が通行している場合であり、自転車利用者の属性は男性で非高齢者であるときの危険回避行動発生確率を求めた。結果を表3に示す。

一般的な普通車の全幅を 1.8m、トレッド（タイヤ間の幅）を 1.5m と想定する。この自動車が車道中央を通行するとき、その走行位置は車道外側線の左端から 0.35m の位置と計算される（図 9）。この自動車が

30km/h で走行したときの自転車の危険回避行動発生確率は 72%であり、自転車にとって安全な走行空間とは言い難い。つまり、多くの自転車利用者は自動車の影響を受けて側溝蓋上の走行を余儀なくされていることがわかる。表3の結果から、自転車の危険回避行動発生確率を 50% 以下にするためには、自動車の走行位置は車道外側線より 1.25m 右側である必要がある。すなわち、自転車通行帯は側溝を含めて 2.45m の幅員が必要であると計算される。この結果から読み取れるのは、自転車が追越車の危険を知覚しづらいことが影響して自転車通行帯の大幅な拡張が必要となることである。

また、自動車の速度を 50km/h から 10km/h に低下させても、危険回避行動発生確率はそれほど大きく変化しないことがわかる。他方、車両の走行位置を 0.35m から 0.95m と 0.6m 変化させた場合、危険回避行動発生確率は 16~17%の低下が見込める。以上のことから、自動車に追い越される場合、自転車利用者は自動車の速度よりもむしろ、自動車との距離が近いときに危険回避行動を取る傾向にあるといえる。したがって、自転車の安全確保には自転車走行空間の幅員の確保が最も効果的な対応策であることが示唆された。このような状況下において、狭幅員道路の拡張を行わずに自転車の安全性を高めるには、側溝によって生じる段差・傾斜の解消工事を施し側溝蓋上を通行できるようにするか、あるいは路側帯幅の約半分を占める側溝蓋の形状を 0.2~0.3m 程度狭幅化することが応急的対策として有効であると考えられる。

表3 自転車の危険回避行動発生確率

		自動車速度				
		10km/h	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h
追越車の走行位置	0.35m	69%	70%	72%	73%	74%
	0.55m	64%	65%	67%	69%	70%
	0.75m	59%	60%	62%	64%	65%
	0.95m	54%	55%	57%	59%	60%
	1.05m	51%	53%	54%	56%	58%
	1.25m	46%	47%	49%	51%	53%
	1.45m	40%	42%	44%	46%	47%
	1.65m	35%	37%	39%	40%	42%
	1.85m	31%	32%	34%	35%	37%

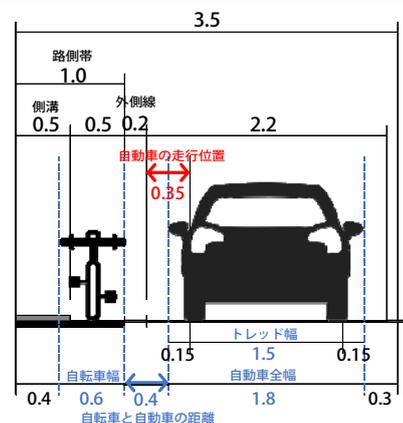


図9 自転車と自動車の通行位置

6. 結論

本研究は、狭幅員二車線道路における自転車の危険回避行動の実態を明らかにするとともに、非集計モデルを適用して危険回避行動発生予測モデルの構築を試みた。本研究から得られた結論は以下5点にまとめられる。

- ① 自転車は、前方からのすれ違いか後方からの追い越しのどちらの場合でも、自動車の走行位置の影響を受けて危険回避行動を取る。
- ② 自転車の危険回避行動は、自動車とすれ違う場合には自動車速度の影響を大きく受けるが、後方から追い越される場合には自動車速度が影響しているとは断定できない。
- ③ 高齢者は非高齢者に比べて後方から迫る自動車の危険を知覚しづらい。そのため、追越車に対する危険回避行動を取りやすいのは非高齢者である。また、性別は危険回避行動に影響を与えない。
- ④ 自動車に追い越される場合、追越車の速度よりもむしろ、追越車との距離が近いときに危険回避行動を取る傾向にある。

- ⑤ 自転車の危険回避行動発生確率を 50%以下にするためには、自転車通行帯は側溝を含めて 2.45m 以上の幅員が必要である。しかし道路拡張を行わずに自転車の安全性を高めるには、側溝蓋の段差や傾斜の解消を施すか、側溝蓋の狭幅化が有効である。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本道路協会：自転車利用環境整備のためのキーポイント，日本道路協会，2013.
- 2) 清田勝・角知憲・大枝良直・田中孝典（1995）「住区内細街路において自動車とすれ違う自転車利用者の危険回避行動発生予測モデル」土木学会論文集 524, IV-29 : 131-134.
- 3) 厲国権・角知憲・寺町賢一（1998）「歩車混合細街路の交通容量と歩行者の交通安全に与える電柱の影響」日本都市計画学会学術研究論文集 33 : 589-594.
- 4) 清田勝・外井哲志・梶田佳孝・松岡淳（2005）「歩行者と自転車の共用空間における歩行者の危険度評価」交通工学 41(1) : 75-83.

(2016.4.22 受付)

DEVELOPING A RISK AVOIDANT BEHAVIOR MODEL OF BICYCLE USERS ON A NARROW TWO-LANE ROAD

Machiko KINASHI, Ryota SAKAGUCHI and Masaru KIYOTA