

# 自転車交通が歩行空間のサービスレベルに与える影響に関する研究

田中 洋平<sup>1</sup>・浅野 光行<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 早稲田大学大学院創造理工学研究科建設工学専攻（〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1）

E-mail:y.tanaka-football@akane.waseda.jp

<sup>2</sup>フェロー会員 工博 早稲田大学創造理工学部社会環境工学科教授（〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1）

E-mail:asanomi@waseda.jp

近年自転車走行空間の整備事例は増えつつある。しかし我が国では、自転車歩行者道や自転車通行可の歩道内での錯綜が大きな問題であり、自転車が歩行者の安全性や快適性に与える影響は多大なものであるにもかかわらず、「歩行者の安全性」という視点からの議論が不十分である。そこで本研究では、回避挙動や速度等の指標と、歩行者換算存在密度や自転車の混入等の指標の関連性を分析した。その結果、数量化理論による分析により、自転車の混入がそれに伴う歩行空間の流れの状態が、歩行者の速度や回避挙動の発生に比較的関連していることを明らかにした。さらに、回避挙動を指標としてサービスレベル変化を示すことで、自転車の混入や流れの状態による歩行空間のサービスの変化を定量的に明らかにした。

**Key Words :** bicycle, level of service, pedestrian space

## 1. はじめに

近年自転車は環境に優しい交通手段として注目されており、全国各地で自転車利用促進の動きが進んでいる。平成 20 年 1 月には自転車通行環境整備モデル地区に全国で 98 地区が指定され、自転車走行空間の整備事例も増えつつある。しかし、整備する際に道路構造的にどのタイプを選択するべきかどうかという明確な指針はなく、試行錯誤的に整備が模索されている。その結果、自転車走行空間は、自転車のみならず、歩行者や自動車に対しても快適なサービスを提供しているとは言い難い。

特に我が国では、自転車歩行者道や自転車通行可の歩道内での錯綜が大きな問題であり、自転車が歩行者の安全性や快適性に与える影響は多大なものである。しかしこれまで蓄積された多くの自転車走行空間に関する研究や歩行者と自転車の混合交通に関する研究は、自転車の走りやすさに重点が置かれ、「歩行者の安全性・歩きやすさ」という視点が欠落しているものが多い。そのため、歩行者の安全性や快適性に着目した自転車走行空間に関する研究の蓄積の必要性は高いと考えられる。

そこで本研究では、混合交通を対象として、自転車交通が歩行空間のサービスレベルに与える影響を明らかにする。回避挙動や速度等の歩行者の特性から抽出される

指標と、密度や自転車の混入等の歩道の状況を表す指標の関連性を分析する。それを基に、既存のサービスレベル（本研究では歩行者の安全性・快適性の基準となるサービスレベルとして Highway Capacity Manual（以後 HCM）を用いる）との乖離および差異を自転車交通の混入状況別に示すことで、自転車交通の進入が歩行空間のサービスレベルに与える影響を定量的に把握することを目的とする。これらを通して本研究が、今後の歩行者の安全性を確保した自転車走行空間整備のための基礎的資料となることを目指す。

## 2. 研究の概要

### (1) 既存研究

本研究は自転車に関係する研究の中でも以下の2つの要素が強いといえる。

#### a) 混合交通に関する研究

外井<sup>1)</sup>は密度指標や追い越し頻度等の指標により混合交通のサービスレベルを表現し、田宮ら<sup>2)</sup>はスペースオキュパンスーを用いたサービスレベルを提案している。山中ら<sup>3) 4)</sup>は自転車走行速度を用いた自転車歩行者道のサービスレベルの提案や、自転車と歩行者の錯綜時

に主体者が危険を感知するモデルによる、サービスレベルの提案をしている。また留守ら<sup>5)</sup>により占有領域や自転車の錯綜時の挙動についてマイクロな分析がなされており、さらに大脇ら<sup>6)</sup>は追い越し発生時の不快感を基準として、自転車・自動車交通量から分離必要度を表現している。

### b) 自転車走行空間の評価に関する研究

金<sup>7)</sup>は利用者の満足度指標を用いて、自転車レーンの評価方法を提案している。一方、山中ら<sup>8)</sup>は自転車歩行者道におけるレーン表示のパターンによる速度、回避挙動、不快感等の変化を検証している。

## (2) 本研究の意義

混合交通に関する研究では、ある指標を基準としてサービスレベルを設定するものや、サービスレベルごとの速度や回避挙動、危険度等の分布・関連を明らかにするものなど、混合交通の評価をするものが多い。しかし、自転車が歩行空間に与える影響は十分に明らかにされていない。また、自転車走行空間に関する研究では、走行空間のサービスレベルの評価はなされているが、自転車の走りやすさに着目する傾向があり、歩行者の安全性を考慮した自転車走行空間整備に向けた研究の蓄積は不十分であると考えられる。

よって、自転車交通の混入が歩行空間のサービスレベルに与える影響について、回避挙動、速度、角度といった歩行者の挙動や歩きやすさの指標を扱い、定量的に把握することに本研究の特徴と意義がある。

### (3) 研究の概要

本研究では、密度、自転車の混入、歩行者流の状態等の歩道状況に関連する指標と、速度、回避挙動、角度などの動線に関連する指標の関連性を数量化理論で分析する。数量化理論において両者の関連性が相対的に見込まれた指標について着目し、自転車の混入と歩行者流によって歩道状況をカテゴリーに分け、サービスレベルの変化を示すことで影響を定量化する。

画像解析については市販の映像解析ツールを用いることとした。この解析ツールでは、画像上をクリックすると時刻と写真座標を自動取得できる。また、人数など分析者が画像を見て任意にデータを付加することができる。

## 3. 現況把握

### (1) 我が国の自転車走行空間について

#### a) 自転車走行空間の分類

日本の自転車走行空間は図1のように分類される。

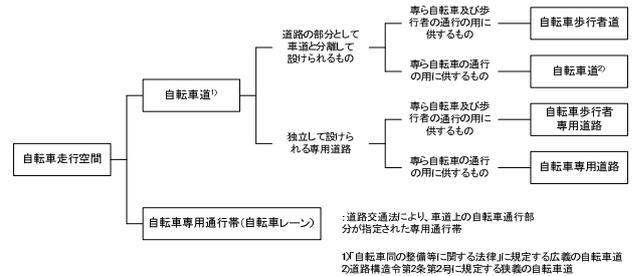


図-1 自転車走行空間の種類<sup>10)</sup>

### b) 自転車走行空間の設計

日本の自転車走行空間の設計は、道路構造令<sup>12)</sup>や自転車道等の設計基準解説<sup>13)</sup>で規定されている。しかしその中では、「自転車交通量の多い第3種又は、第4種の道路には自転車道を設置し、かつ歩道を設置する」、「自転車歩行者道は自動車交通量が多い場合に設置する」など、漠然とした表現になっている。また、日本における自動車と自転車の分離基準は、自動車の交通量が500~700台/日、自転車及び歩行者と自動車の分離基準は自動車交通量が500台/日であるとしている。

### (2) 自転車走行空間環境整備モデル地区の整備状況

国土交通省と警察庁では、平成20年1月に全国98地区を「自転車通行環境整備モデル地区」(以下「モデル地区」)に指定し、整備を推進している。平成21年度末時点での整備状況を表1に示す。

表-1 モデル地区整備状況<sup>14)</sup>

整備手法	計画	整備済	整備率
自転車道	48.3km	24.0km	50%
自転車専用通行帯	39.1km	28.2km	72%
自転車歩行者道	251.6km	178.7km	71%
(うち自転車通行位置の明示)	122.5km	81.0km	66%
合計	339.0km	230.9km	68%

### (3) HCM指標<sup>15)</sup>

HCMは米国の道路容量マニュアルであり、表4に示すように密度及び交通量で6段階のLOS(Level of Service)に分類し、その状況下で生じる交通現象を言語による記述で表現している。本研究で扱う場合は、歩行者存在換算密度を歩行者密度として適応させる。

表-2 HCM指標(言語記述は除く)

LOS	歩行者密度 (人/m <sup>2</sup> )	単位幅流れ (人/min/m)	LOS	歩行者密度 (人/m <sup>2</sup> )	単位幅流れ (人/min/m)
A	~0.083	~6.56	D	0.449~0.718	32.8~49.2
B	0.083~0.269	6.56~23.0	E	0.718~1.794	49.2~82.0
C	0.269~0.449	23.0~32.8	F	1.794~	可変

## 4. ビデオ撮影調査

### (1) 対象地

荻窪駅の北口の歩道を対象地としている。選定理由は、駅から近く幅広い交通量が観測されること、自転車と歩

行者の錯綜がみられること、撮影に適した環境が整っていること、傾斜や起伏が少ないことが挙げられる。

## (2) ビデオ撮影調査

ビデオ調査の概要を表3に示す。

表-3 調査概要

	日時	時間	天候
①	2011年6月23日(木)	12:00~13:00	快晴
②	2011年6月24日(金)	17:00~18:00	快晴

解析で得る座標は、歩行者及び自転車搭乗者の頭部を代表点としてマーキングしていく。そのため、頭頂部の座標を取得した場合、データとして扱う導線及び座標は、図2に示すように地表点から一定の高さにある平面上のものとなる。よって、座標変換では全ての歩行者及び自転車搭乗者の身長が一定であると仮定することが必要となり、図3に示す位置座標が分かっている点(A~D)に高さ一定(160cm)の基準点を設置した。



図-2 動線を仮定する平面



図-3 対象地座標系

## (3) 座標変換パラメータの算出

### a) 座標変換

本研究では、写真測量の二次元における射影変換を用いて、写真平面から現地座標平面への座標変換を行う。図4のように、写真平面座標上のある点  $p(x,y)$  に対応する未知の任意の平面座標上の点  $P(X,Y)$  は、以下の二次射影変換式により算出される。

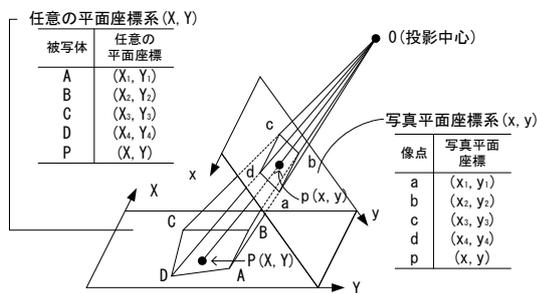


図-4 共線条件と二次元射影変換における平面関係

$$X = \frac{b_1x + b_2y + b_3}{b_7x + b_8y + 1} \quad (1)$$

$$Y = \frac{b_4x + b_5y + b_6}{b_7x + b_8y + 1} \quad (2)$$

ここに、 $b_1 \sim b_8$  : パラメータ  
 $b_1 \sim b_8$  は、カメラの傾きや回転を補正するパラメータ

であり、次の8元連立方程式を解くことで求められる。本研究では、写真座標は既知なので、任意の平面座標系の最低4点の座標が分かればパラメータが求められる。

$$A \times b = C \quad (3)$$

$$\therefore b = A^{-1} \times C \quad (4)$$

ここに

$$A = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1X_1 & -y_1Y_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -x_1Y_1 & -y_1X_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2X_2 & -y_2Y_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -x_2Y_2 & -y_2X_2 \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_3X_3 & -y_3Y_3 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 & -x_3Y_3 & -y_3X_3 \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_4X_4 & -y_4Y_4 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & 1 & -x_4Y_4 & -y_4X_4 \end{pmatrix} b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \\ b_7 \\ b_8 \end{pmatrix} C = \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ X_3 \\ Y_3 \\ X_4 \\ Y_4 \end{pmatrix}$$

### b) 算出結果

本研究では解析ツールにより写真座標は取得可能である。そのため、ビデオ調査において基準点を設置することで、表4のように2つの座標系の値が既知となり、表5のようにパラメータを算出することができる。

表-4 基準点の座標

基準点	現地座標		写真座標			
	X	Y	①(12:00~13:00)		②(17:00~18:00)	
			x	y	x	y
A	0	2.09	8.5	174.8438	7	173.9063
B	6.03	2.09	228	202.0313	228.5	206.25
C	6.03	0.19	225.5	31.40625	227	29.53125
D	0	0.19	4.5	76.40625	9	73.125

表-5 パラメータ算出結果

調査時間帯	$b_n$							
	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8
12:00~13:00	0.046241	-0.00188	-0.0645	0.004279	0.018549	-1.22282	0.003177	-0.00025
17:00~18:00	0.050814	0.001008	-0.53106	0.004707	0.020132	-1.31541	0.003628	0.000208

## 5. 集計

### (1) 指標の抽出

#### a) 整流・交錯流・方向の定義

本研究では歩行者及び自転車の流れを図5、6に示すように主方向、対方向と定義する。また、これらの流れに逆行する形で、小規模な流れが生じることがあり、これらを逆行と定義し、逆行のない状態を整流(図5参照)、逆行のある場合を交錯流(図6参照)と定義する。



図-5 方向の流れ(整流)



図-6 方向の流れ(交錯流)

#### b) 歩行者換算存在密度<sup>3)</sup>

区間内の自転車1台を歩行者に換算し、区間面積当たりの歩行者数を算出した数値を指す。歩行者換算密度  $M$  は(5)式により算出する。

$$M = \frac{S_c}{S_p} \times M_c + M_p = 2.56 \times M_c + M_p \quad (5)$$

ここに、  
 $S_c$ : 12.8m<sup>2</sup> (自転車1台の占有面積)  
 $S_p$ : 5.0m<sup>2</sup> (歩行者1人の占有面積)  
 $M_c$ : 区間内の自転車存在密度 (台/m<sup>2</sup>)  
 $M_p$ : 区間内の歩行者存在密度 (人/m<sup>2</sup>)

### c) 指標の抽出

密度や歩行者流など、ある時点の歩道の状況を表わす指標である「歩道状況関連項目」と、歩行者及び自転車搭乗者の実際の挙動及び、属性を表わす指標である「サンプル動線関連項目」の2つの指標データを抽出する(表6、7参照)。そして、歩道状況関連項目の2秒間の平均値と歩行者の場合はサンプル動線項目の4秒間の値を、自転車の場合は2秒間の値を1つのサンプルデータとして抽出する(図7参照)。また本研究で扱う回避挙動については、表8に示す判断基準を設け、4秒間の歩行者の挙動あるいは、2秒間の自転車挙動の中で、発生の有無をデータとして付与する。

表-6 歩道状況関連項目

項目	詳細
方向別人数	主方向、対方向の歩行者人数
	主方向、対方向の自転車人数
交通の密度	主方向、対方向の歩行者密度
	主方向、対方向の自転車密度
自転車混入率	主方向、対方向の歩行者換算密度
	主方向、対方向の自転車混入率
歩行者の流れの種類	整流、交錯流
自転車の混入	歩行者と同方向、歩行者と逆方向への自転車の混入の有無

表-7 サンプル動線関連項目

項目	詳細
形態	歩行者、自転車
属性	性別
方向	主方向、対方向
回避挙動の有無	回避、追い越し、追従(歩行者)
サンプル動線(位置座標)	回避、追い越し、追従(自転車)
	平均速度、速度幅、平均角度、角度幅

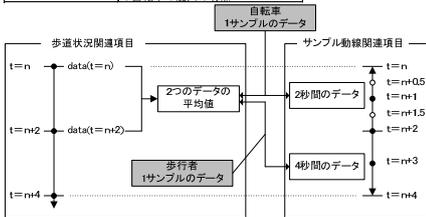


図-7 サンプルデータの取り扱い方

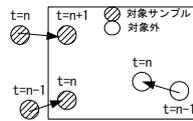


図-8 集計対象

表-8 回避挙動の定義

対象	挙動指標	判断基準
歩行者	回避	体の回転や対面交通を避ける挙動
	追い越し	進路転換を要する前の歩行者や自転車を追い越す挙動
	追従	回避挙動を行うスペースがなく、前の歩行者や自転車に速度や歩調を合わせて歩行する挙動
自転車	回避	進路転換を要する対面交通を避ける挙動
	追い越し	進路転換を要する前の歩行者や自転車を追い越す挙動
	追従	回避挙動を行うスペースがなく、前の歩行者や自転車に速度を合わせて走行する挙動

速度・角度は、式(6)~(9)より求め(図9参照)、平均速度・角度は  $n=1\sim 4$ (自転車は  $n=0.5\sim 2$ )の平均値とする。また、速度・角度幅は、 $n=1\sim 4$ (自転車は  $n=0.5\sim 2$ )の中で最大値と最小値の差によって算出する。歩行者換算存在密度は、式(5)より算出した値を表4に示すHCMの密度区分に当てはめることでカテゴリーデータとした。

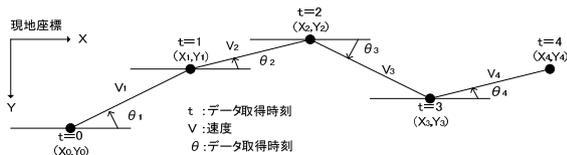


図-9 データ最終時間における座標の値

$$\text{歩行者速度 } V_n = \sqrt{(X_n - X_{n-1})^2 + (Y_n - Y_{n-1})^2} \quad (6)$$

$$\text{自転車速度 } V_n = (\sqrt{(X_n - X_{n-0.5})^2 + (Y_n - Y_{n-0.5})^2}) / 0.5 \quad (7)$$

$$\text{歩行者角度 } \theta_n = \frac{180}{\pi} \times \arctan\left(\frac{Y_n - Y_{n-1}}{X_n - X_{n-1}}\right) \quad (8)$$

$$\text{自転車角度 } \theta_n = \frac{180}{\pi} \times \arctan\left(\frac{Y_n - Y_{n-0.5}}{X_n - X_{n-0.5}}\right) \quad (9)$$

## (2) サンプルデータ

本研究では、歩行者は 2,226 サンプル、自転車は 391 サンプルを取得した。しかし、実際の分析においては、自転車を押して走行する歩行者やベビーカーを押す歩行者、滞留する歩行者等が対象範囲内に存在するサンプルは除外している。その結果、歩行者の分析対象は 1,655 サンプルとなった。

## 6. 数理化理論による分析

歩道状況関連項目と、サンプル動線関連項目との関連を見るために、表9に示す指標により分析を行った。なお本分析以降は、以下のように指標の再設定を行っている。

- ① HCMの密度区分のAとBを統合(密度区分Aの交錯流のサンプルが存在しないため)
- ② 回避挙動とは「回避」及び「追従」を指す(追い越しを行っている歩行者が非常に少ないため)

表-9 説明変数と目的変数

説明変数	目的変数
歩行者換算密度(HCMによる密度区分)	平均速度
整流か交錯流か	速度幅
自転車の混入(順方向、対方向、双方向)	平均角度
	角度幅
	回避挙動の発生(回避、追越、追従)

表-10 分析精度

目的変数	分析精度	分析手法
平均速度	0.151	数量化I類
速度幅	0.042	数量化I類
平均角度	0.065	数量化I類
角度幅	0.084	数量化I類
回避挙動(回避、追従)	0.308 (76.1%)	数量化II類

分析精度 I類: 自由度修正済決定係数  
II類: 相関比(判別的中率)

表10に分析精度を示す。これより、自転車の混入や歩道の流れは相対的に平均速度及び回避挙動(回避、追従)の発生に与える影響が大きいことがわかる。

表-11 偏相関とアイテムレンジ(平均速度)

アイテム名	レンジ	単相関係数	偏相関係数
HCM(密度区分)	0.157 1位	0.287 1位	0.183 1位
流れ	0.061 3位	0.174 3位	0.111 2位
自転車の混入	0.130 2位	0.218 2位	0.093 3位

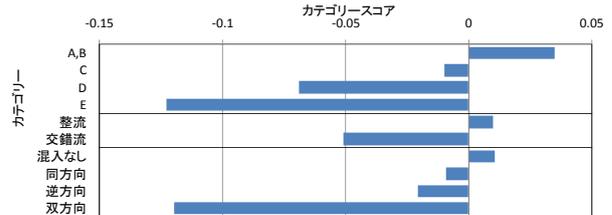


図-10 カテゴリースコア(平均速度)

平均速度については、表 11、図 10 に示すように密度区分の影響が比較的高いことが分かる。しかし、密度区分が A~C の場合では、歩道の流れ及び自転車の混入の影響が卓越すると考えられ、特に双方向の自転車の混入が平均速度に与える影響は非常に大きくなる。なお、分析精度（自由度修正済決定係数、単相関係数）については有意な結果が得られていないことには留意する必要があり、別途検証する必要がある。

表-12 偏相関とアイテムレンジ (回避挙動)

アイテム名	レンジ	偏相関係数	偏相関検定
HCM(密度区分)	1.793 1位	0.258 1位	***
流れ	1.472 2位	0.256 2位	***
自転車の混入	0.870 3位	0.134 3位	***

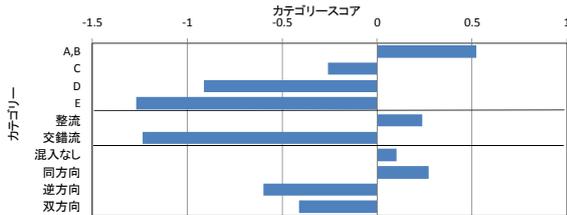


図-11 カテゴリースコア (回避挙動)

表 12 の偏相関係数、レンジをみると、密度区分が比較的高い値となり、密度が大きく影響している。特に高密度においては回避挙動の発生に対する密度の影響は高いと言える。しかし、歩道の流れ及び自転車の混入に関しても、アイテムレンジ・偏相関に着目すると、検定も有意であり、比較的影響が高いと言える。特に、低密度域では、密度による影響より歩道の流れ及び自転車の混入の影響が大きくなると考えられる。また、自転車の混入では、逆方向及び双方向の混入が、回避挙動の発生に対する影響が高いことが伺える。

## 7. 歩道状況の分類

数量化理論による分析により、回避挙動の発生と自転車の混入や歩道の流れに比較的高い関連性がみられた。この具体的な影響を、自転車の混入状況別にサービスレベル変化を示すことで分析する。自転車の混入と歩行者の流れによる影響を把握するために、表 13 のように歩道状況をカテゴリーとして定義し、サンプルを分類する。分類後のサンプル数と平均密度を表 14 に示す。

表-13 カテゴリーの定義 表-14 カテゴリー別サンプル数

カテゴリー	歩道の流れ	自転車の混入		
		同方向	逆方向	双方向
通常	整流	×	×	×
同方向	整流	○	×	×
逆方向	整流	×	○	×
双方向	整流	×	○	○
通常(交錯)	交錯流	×	×	×
同方向(交錯)	交錯流	○	×	×
逆方向(交錯)	交錯流	×	○	×
双方向(交錯)	交錯流	○	○	○

カテゴリー	HCMの密度区分				
	AB	C	D	E	
通常	661	228	44	1	
同方向	63	82	65	5	
逆方向	36	102	75	11	
双方向	0	3	10	3	
通常(交錯)	66	68	30	0	
同方向(交錯)	3	10	12	6	
逆方向(交錯)	1	22	22	11	
双方向(交錯)	0	0	8	7	

## 8. 回避挙動を指標としたサービスレベル変化

各カテゴリーに含まれるサンプルにおける、回避挙動が発生したサンプルの割合を回避挙動発生割合として算出した (表 15、図 12 参照)。表 15 から、双方向 (交錯) においては、全サンプルで回避挙動が発生しているため、この後の分析データからは除外する。

表-15 回避挙動発生割合

回避挙動発生割合	通常	同方向	逆方向	双方向	通常(交錯)	同方向(交錯)	逆方向(交錯)	双方向(交錯)
A,B	18%	27%	39%		59%	67%	0%	
C	33%	30%	57%	67%	71%	50%	86%	
D	45%	62%	64%	60%	73%	75%	73%	100%
E	100%	100%	73%	100%			82%	100%

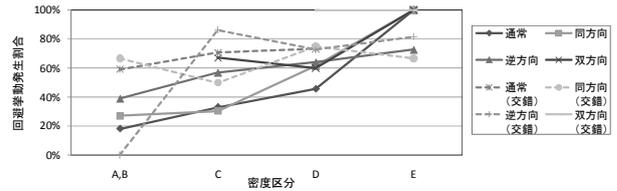


図-12 各カテゴリーの回避挙動発生割合

これらのデータを用い、回避挙動の発生率を指標として、各カテゴリーのサービスレベル変化を以下の手順により導く。

1. 各カテゴリーの散布図を描き回帰線を求める。回避挙動は有無によりデータを取得しているため、回帰式の作成は、式(10)の形を取るロジスティック回帰分析を行う。  

$$p(x) = \frac{1}{1 + \exp(-(a + bx))} \quad (10)$$

ここに、 $P(x)$ : 密度  $x$  のときの回避挙動発生率  
 $a, b$ : 回帰係数
2. 「通常」の回帰線から HCM のレベル間の密度境界に対応する回避挙動発生率境界を求める。
3. 発生率境界値から各カテゴリーの回帰式を用いてそれに対応する密度境界値を算出する。

算出された結果を表 16、図 13 に示す。同方向 (交錯) 及び逆方向 (交錯) については有意な結果が得られていないため、別途検証が必要である。

表-16 回帰係数

カテゴリー	係数a	係数b	尤度比検定
通常	-2.5685	5.3981	***
同方向	-2.7824	5.9663	***
逆方向	-0.6581	2.2303	[*]
双方向	-1.9373	4.9257	[*]
通常(交錯)	-0.5808	3.9476	[*]
同方向(交錯)	-0.3227	1.7966	[ ]
逆方向(交錯)	0.4778	1.6197	[ ]

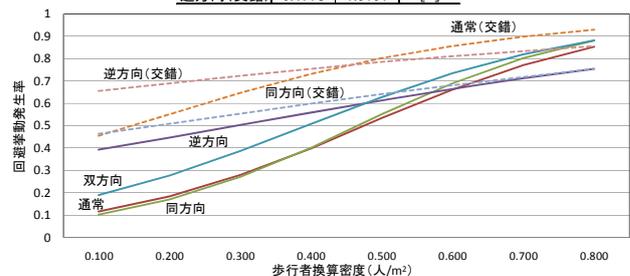


図-13 回帰曲線 (回避挙動発生率)

回避挙動の発生率境界値を表 17 に、サービスレベル変化を表 18 及び図 14 に示す。

表-17 発生率境界値 表-18 密度境界値 (回避挙動発生率)

レベル間	HCMによる 密度区分(通常) 人/m <sup>2</sup>	回帰曲線による 発生率区分 (通常)	カテゴリー	回帰曲線から求める密度境界 人/m <sup>2</sup>		
				AB/C	C/D	D/E
AB/C	0.269	25%	通常	0.269	0.449	0.718
C/D	0.449	46%	同方向	0.279	0.442	0.685
D/E	0.718	79%	逆方向	0.000	0.230	0.881
			双方向	0.167	0.364	0.659
			通常(交錯)	0.000	0.110	0.478
			同方向(交錯)	0.000	0.099	0.907
			逆方向(交錯)	0.000	0.000	0.512

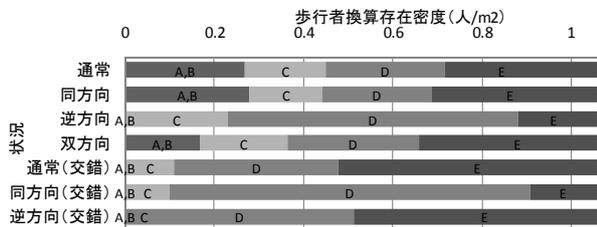


図-14 回避挙動発生率を基準としたサービスレベル変化

図 13 及び図 14 から、整流状態において、逆方向及び双方向の自転車の混入は、回避挙動を引き起こしやすくなると考えられる。特に双方向の混入では、通常状態で起こる C、D の回避挙動発生率が低密度側に移行していることが分かる。逆方向の混入では、低密度側では回避挙動を大きく発生させることが分かるが、高密度側になると、逆方向の混入のみでは回避挙動は引き起こされていないことが分かる。同方向の混入は、通常歩行者との違いはあまり見ることが出来なかった。

交錯流では、整流と比較してサンプル数が少ないことには留意することが必要であるが、全体的に整流と比較して、低密度側の回避挙動発生率を大きく高める結果となっている。特に、逆方向へ自転車が混入した場合の交錯流は、最もサービスの低下が大きいことが分かる。

## 9. 得られた知見と今後の課題

### (1) 得られた知見

個人の挙動に着目して分析を行うことで、自転車交通が歩行空間に与える影響について、詳細な結果を得ることができた。数量化理論では、歩道の流れや自転車の混入が、歩行者の平均速度及び回避挙動(回避、追従)の発生率に相対的に関連性が強いことを示した。

また、自転車の混入別に回帰式を求めることで、カテゴリー別の回避挙動発生率の特性を示すことができ、さらに歩行空間のサービスレベルに与える影響を定量化した。この方法により、自転車の逆方向及び双方向の混入が低密度域でサービスを悪化させていることが明らかになった。また、交錯流もサービスの悪化に繋がっていることを示すことができた。

### (2) 今後の課題

数量化理論による分析では、決定係数や相関比等の精度が高くなかった。そのため、歩行者の属性や歩行者の目的、さらに方向別の設定等の新たな条件を含めた分析が必要である。サービスレベル変化に関しては、回避挙動発生を基準としたものしか提示していない。さらに回避挙動に関しては、目視での判断であるため誤差の影響が懸念される。そのため、サービスレベル変化の結果に対する精度等の比較検討が不十分である。よって、数量化理論の精度を高め、新たな指標を基準としたサービスレベル変化を示すことで、より詳細な影響を把握していくことが今後の課題である。

### 参考文献

- 1) 外井哲志：歩行者・自転車混合交通におけるサービス水準に関する検討,土木技術資料,1984.
- 2) 田宮佳代子,山中英生,山川仁,濱田俊一：自転車歩行者通行空間としての自歩道のサービス水準に関する分析,土木計画学研究・講演集,No.22 (2), 1999.
- 3) 山中英生,田宮佳代子,山川仁,半田佳孝：自転車走行速度に着目した歩行者・自転車混合交通の評価基準,土木計画学研究・論文集,Vol.18,No.3,2001.
- 4) 山中英生,半田佳孝,宮城祐貴：ニアミス指標による自転車歩行者混合交通の評価法とサービスレベルの提案,土木学会論文集 No.730,2003.
- 5) 留守洋平,原田昇,太田勝敏：歩道における自転車の挙動と占有領域に関する研究,土木学会第 58 回年次学術講演会,平成 15 年.
- 6) 大脇鉄也,諸田恵士,上坂克己：シミュレーションを活用した歩行者自転車混合交通の分離必要度の評価,第 39 回土木計画学研究・講演集,2009.
- 7) 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,都市計画論文集,No.44-3,2009.
- 8) 山中英生,肌野一則,半田佳孝：利用者の挙動と安全感から見た自転車歩行者道におけるレーン表示の効果,土木計画学研究・論文集,Vol.19,No.4,2002.
- 9) 小井土祐介・浅野光行：歩行形態が歩行空間のサービスレベルに与える影響について—歩行者動線に着目して—,日本都市計画学会都市計画論文集,No.44-3,2009.
- 10) (社)交通工学研究会 交通技術小委員会：第 30 回交通技術セミナー資料,2010.
- 11) (社)交通工学研究会編：交通工学ハンドブック,技報堂出版,1984.
- 12) 日本道路協会：道路構造令の運用と解説,小葉出版,1983.
- 13) 日本道路協会：自転車道等の設計基準解説,昭和 49 年.
- 14) 国土交通省ホームページ
- 15) 交通工学研究会：「道路の交通容量」,コロナ社,1987.
- 16) USDOT,FHWA：The Bicycle Compatibility Index: A Level of Service Concept, Implementation Manual,1998.

(2011.8.?受付)

A study on influence that bicycles give to service level of pedestrian space

Yohei TANAKA, Mitsuyuki ASANO