

# 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

山中英生<sup>1</sup>・半田佳孝<sup>2</sup>・宮城祐貴<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 徳島大学教授 工学部建設工学科 (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島2-1)

<sup>2</sup>正会員 修士 (工学) 岡山県庁 (〒700-8570 岡山市内山下2-4-6)

<sup>3</sup>正会員 修士 (工学) 那覇市役所 (〒900-8585 那覇市泉崎1-1-1)

本研究は、自転車利用空間の中心である歩行者との混在空間について、歩行者・自転車快適性の視点から評価する新しい指標を開発し、それに基づくサービスレベルを提案することを目的としている。このため、自転車と歩行者の交錯時に主体者が危険を感知するニアミス状態を、相対位置・相対速度から判定するモデルを提案し、路外実験によって同定している。このモデルを用いてビデオ観測からニアミス頻度を予測して混在交通を評価する方法を開発し、これをもとに混在交通のサービスレベルを提案して、交通密度、自転車速度などの交通状況、通行者の危険感・不快感などの評価意識との関連を明らかにしている。

*Key Words* : bicycle and pedestrian, shared use, level of service, risk perception

## 1. はじめに

都市交通における自転車利用の効用が注目されており、自転車が都市交通手段として有効に機能する道路環境の整備が急務となっている。自転車ネットワークの整備には、自転車道路、レーンや通行帯、広幅員歩道などの自転車利用空間を、交通特性に応じて効率的・効果的に整備することが要請される、そのためには、整備必要度を判定し、施策実施の効果を定量的に計測する手法が重要となる。

特に我が国では、自転車利用空間の中心を占めている自転車歩行者道路や自転車通行可の歩道の改善が整備上の課題の中心となるが、こうした自歩道等では自転車利用者に加えて、歩行者の安全性や快適性からの評価が必要となる。しかし、こうした混在交通の状態を両方の交通主体の視点から評価する手法については、研究は十分とは言えない。

本研究は、既存の混在交通状況下における自転車の利用空間について、混在の状況を評価し、施策の効果判断の際に必要な、自転車・歩行者の混在状況の評価指標を開発し、それに基づくサービスレベルを提案することを目的としている。

## 2. 自転車歩行者混在交通の評価に関する考察

### (1) 混在交通に関する既往研究

自転車と歩行者の混在交通の評価に関する既往研究は多くはないが、海外等でも検討が行われている。

#### a) 英国における既往研究

英国のHarland<sup>1)</sup>らは、歩行者・自転車の共有道路での交通挙動や通行者インタビューから、重大な支障がなく、利用者の大半が共有空間として利用することに満足していると報告しているが、McClintock<sup>2)</sup>はノッティンガムのサイクリング道路での調査で、白線分離のない共用路は被験者の不満が高く、分離の必要があるとしている。これらの研究をもとに、小交通量のフットパスなどでの歩行者・自転車共有の指針が示されている<sup>3)</sup>。また、英国では近年自転車利用促進が戦略的施策として推進されており、その施策の一環として、歩行者との共有スペース (shared-use facilities) の基準について議論が行われ、ガイドラインの策定が進められている<sup>4)</sup>。しかしイギリスサイクリスト協会 (CTC) は、共有スペースをもつ5都市においてインタビュー調査を行い、共有で生じるコンフリクトを分析して、共有は多くの場合問題は少ないものの、身障者特に視覚障害者

に大きな不安をもたらすとしている<sup>9)</sup>。ただし、数箇所の意識分析に基づいており、共有に関する明確な基準は示されていない。

#### b) オランダにおける既往研究

これに対して、Botma<sup>9)</sup>は、自転車・歩行者道のサービスレベルを規定する指標として、回避行動(hinderance)に着目し、その頻度をモデル化して、サービスレベルを提案している。自転車と歩行者が混在する道路については、2方向2主体(歩行者・自転車)の交通量から、追い越し・すれ違いの頻度を推計し、それをもとにサービスレベルを提案している。ただし、ここでは両者間の回避幅や自転車の速度が自由度や快適性に与える影響については考慮されていない。

#### c) 我が国における既往研究

我が国は歩道の自転車通行を幅広く認めている数少ない国であり、実態や問題に関する研究はいくつか見られる<sup>7)</sup>が、許容水準に関する研究は多くない。

高岸<sup>8)</sup>は、自転車と歩行者の混在交通下で、歩行者の歩行障害回数と自転車の通行障害回数をビデオ観察から計測し、評価指標として歩道の有効幅員に関連して共存可能な自転車交通量、歩行者交通量を提示している。ここでは、歩道有効幅員による回避幅確保の違いが通行傷害に及ぼす影響を幅員の関数として表現した上で、歩行者と自転車の交通量、速度を考慮したすれ違い・追い越し頻度を推計する方法を用いている。ただし、両者の通行位置や区分状態の影響は考慮されていない。

山中・田宮<sup>9)</sup>は自歩道でのピーク時の交通流動をビデオ観測するとともに、被験者を通行させて通行時の意識を観測している。ここでは、自転車通行速度や通行者安全感と交通条件との関連を分析して、歩行者換算存在密度や通行方向率、自転車混在率が重要な評価要素であることを明らかにしている。また、混在交通の評価指標として自転車の85パーセントイル速度に着目し、歩行者換算存在密度や通行方向率、自転車混入率から速度値を推計する方法を開発するとともに、回避行動、危険感や不快感、危険感知回数と関連を明らかにしている。自転車速度は意識や回避などの評価指標と良好な関連性を有しており、評価のための代理指標となり得ることが示されているが、指標自体は「自転車の良好な走行性」を意味するものであり、「歩行者からみた混在の望ましさ」を評価するには疑問が残っている。

#### (2) 混在交通の評価の視点

本研究では、混在交通状況の望ましさは、それを構成する交通主体の総体としての安全性、快適性が

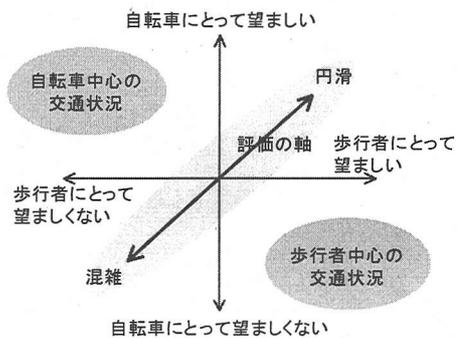


図-1 混合交通における評価軸

ら見るべきであると考えられる。ここで、混合交通を構成する交通主体は歩行者および自転車であるが、その両者にとって安全で快適な状態を望ましい状況と考える(図-1)。すなわち、両者の交通を収容する十分な施設空間が提供され、かつ適切な利用空間の秩序が保たれている状態を望ましいと考える。

#### (3) 混合交通の評価指標が具備すべき条件

以上のことから、ここで開発する評価指標は、以下の条件を具備すべきと考えた。

- 数値の解釈が容易なこと。満足基準、最低基準を議論する上で、数値に対して感覚的な判断が容易であること。
- 上記の評価軸の概念に適合する指標値が得られること。
- 定量化が可能なこと。しかも、計測方法に左右されない安定した定量化が可能なのが望ましい。
- 計測が容易であること。多数の路線の評価が必要であることから、容易に観測されうる指標であること。できれば自動観測可能な指標であること。
- 通行レーンの設置、速度管理、交通量抑制、空間拡充といった自転車・歩行者空間整備の効果を適切な感度で評価可能なこと。

#### (4) 評価指標の開発方針

一方、従来行われてきた研究では、上記の状態を測るための指標として以下が取り上げられている。

- 自転車・歩行者の意識・・・安全感・快適感
- 自転車・歩行者の挙動特性・・・回避・追従挙動
- 自転車・歩行者の流動状況・・・接近距離
- 自転車・歩行者の走行特性・・・速度
- 自転車・歩行者の交通指標・・・交通量・密度

上記の視点から指標を比較したのが表-1である。従来用いられている意識指標や挙動指標は理解しやすく、評価軸との関連も高いが、アンケート調査やビデオによる人的な判断が必要など、定量化の安定

性に問題を有している。一方で、交通指標や走行特性指標は計測が比較的容易で定量化しやすく、安定的である。そこで、一般には街路をサンプリングして意識指標や挙動指標、走行指標、交通環境を同時に観測した上で、意識指標や挙動指標を評価のための指標とし（これをターゲット指標と呼ぶ）、計測容易な他の指標でターゲット指標を推計するモデルを作成する手法が用いられている。実際の街路評価では説明指標を計測し、モデルを適用して評価値を算出して評価を行う。この際、説明指標が多様な施策に対して適切な感度を有するかどうかが重要な視点となる。例えば、スペースモジュール（一人あたり平均道路面積）は空間拡充などの効果を評価できるが、その説明指標だけでは方向や主体による通行帯の分離などを評価できないおそれがある。

本研究では上記の分類において「流動特性」とされる指標を説明指標とし、意識指標や挙動指標をターゲット指標とする。すなわち、ビデオ観測による個々の主体の軌跡を作成し、流動特性である両者の相対位置と速度から「危険な接近状態：ニアミス」を自動的に判断してできる方法を開発して、「危険な接近状態」を安定して計測可能にすることを目的としている。これによってビデオ観測から混合交通のサービスレベルを判断することが可能となる。また、この指標は「自転車と歩行者の安全感の改善」といった施策目標を直接的に示すものであり、多くの施策を適切に評価できる可能性がある。

なお、ここでの「ニアミス：危険な接近状態」は、広い意味では錯綜（コンフリクト）の概念に含まれるものであるが、錯綜は一般には「衝突の可能性を判断して回避行動が生じた場合」と定義され、挙動（制動、回避など）を観察する方法や流動特性（軌跡、速度）から判定する方法で計測されている。これに対して、本研究でのニアミスは「移動主体が衝突危険性を感知する接近状態」であり、回避行動以前に生じる現象として定義している。この定義によると、自転車・歩行者の場合、低速度のため、危険性を感知しても明白な回避挙動が生じない恐れが高いことに配慮できると言える。

以下では、まず流動特性から「危険な接近状態：ニアミス」を判断するためのモデル「リスク感知モデル」を路外実験から構築する。次に、実際の自歩道等でのビデオ観測結果を用いて「ニアミス頻度」を推計し、この頻度によって設定した評価レベルと回避挙動や意識指標との関連を確認して、ニアミス頻度による混合交通サービスレベルを提案する。なお、リスク感知モデルについては既往の著者らの研

表-1 評価指標の分類と特性

指標	指標例	評価軸との関連性	理解しやすさ	定量化・安定性	計測しやすさ	施策による感度
意識指標	安全感・快適感	◎	◎	△	×	○
挙動指標	回避・通従行動	○	◎	○	△	○
流動特性指標	接近距離	○	○	◎	△	○
走行特性指標	速度	△	○	◎	◎	△
交通指標	交通量・交通密度	△	△	◎	◎	△

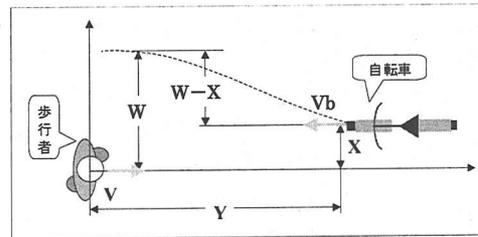


図-2 リスク感知モデルにおける位置関係

究で発表しているプロトモデル<sup>10)</sup>を改良し、新たに同定したものである。

### 3. リスク感知モデルの同定

#### (1) リスク感知モデルの定式化

##### a) 混合交通におけるリスク感知

混合交通下にある各交通主体は、他の交通主体に影響を受けて回避等の行動をとる。すなわち、自らに接近してくる相手を認識し、衝突や接触の可能性を予測して、その恐れがあると危険を感じた時にその主体は「リスク」を感知すると考える。すなわちここでの「リスク」は衝突の危険性を評価する意識の意味として用いている。次いでリスクを回避するために、方向転換や減速、停止の回避行動が生じる。こうした回避行動等の経験の蓄積が街路の快適性や安全性を構成すると考えられる。

本研究では、混合交通環境評価の要因となると考えられる「リスク感知」状態の頻度を計測することで、歩行者と自転車の混合交通下の安全性や快適性を利用者の立場から評価することを基本としている。しかし、リスク感知を直接計測することは、被験者投入などの手間を要することになる。そのため、「リスク感知」が生じる条件を明らかにして、接近し合う主体の相対速度、相対位置からリスク感知の発生確率を説明するモデルを開発することにした。

##### b) モデル式

図-2のように1人の歩行者と1台の自転車がすれ違う場合を考える。このとき歩行者はある相対的な地点、速度の状況で接触の可能性を予測してリスクを感知し回避行動を始める。この接触・衝突の予測に

において、「すれ違う時点までに十分な回避できなくなる」と感じるときにリスク感知が生じると考えることができる。

そのため、接触・衝突までの予測時間と安全回避幅への回避終了までの予測時間との差（これを回避余裕時間と呼ぶ）が一定以下になったとき、危険を感知すると仮定する。図のように歩行者が位置  $(X, Y)$  にあり、両者の相対速度が  $V=Vb+Vp$  の時、安全回避に必要な位置を  $W$  として、歩行者がこの位置に回避する時間は回避距離  $W-X$  に比例するとすると、回避余裕時間  $T$  は次式で表される。

$$T = \frac{Y}{V} - \alpha'(W - X) \quad (1)$$

ここで  $Y/V$ : 相対時間距離  $X$ : 回避幅  
 $W$ : 安全回避幅  $\alpha'$ : パラメーター

実際に認識される余裕時間は変動することを考慮してロジットモデルを仮定すると、上記の時点での危険を感知するか否かの確率  $P(X, Y, V)$  は以下の式となる。

$$P(X, Y, V) = \frac{1}{1 + \exp(\theta Y/V + \alpha(W - X) + \beta)} \quad (2)$$

ここで  $\theta, \alpha, \beta$  はパラメータ

安全回避に必要な幅  $W$  は、すれ違っても危険を感じない回避幅である。これは、自転車の速度や、歩行者の属性などによって変化すると考えることができるので、 $W$  は速度や被験者属性、歩道端にある壁の有無などの街路条件の線形関数と仮定し、結局以下の(4)式のモデルを仮定した。パラメータ  $\theta, \alpha, \beta_1, \beta_2 \dots \beta_n$  は実験によって  $X, Y, Z$  を変化させたときのリスクの有無を観測することで推測することができる。

$$P(X, Y, V) = \frac{1}{1 + \exp(\theta Y/V - \alpha X + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n)} \quad (3)$$

ここで  $\theta, \alpha, \beta_1 \dots \beta_n$  はパラメータ  
 $X_i$ : 被験者属性、壁の有無等 (ダミー変数など)

## (2) パラメータ推定のための実験

リスク感知モデルのパラメータを算定するために自転車と歩行者、自転車と自転車が交錯時に、どのような位置関係（相対位置）と相対速度において危険を感知するかを調べる路外実験を行った。



図-3 リスク感知実験の状況

表-2 実験ケース

歩行者と自転車の対向・追越						
方向	壁	自転車速度	回避幅	歩行者A	自転車B	実験数
対向	壁あり	9km/h	0.50, 0.75, 1.00(cm)	学生2・高齢者2	学生2	8
		18km/h	0.50, 0.75, 1.00(cm)	学生2・高齢者2	学生2	8
	壁なし	9km/h	0.50, 0.75, 1.00(cm)	学生2・高齢者2	学生2	8
		18km/h	0.50, 0.75, 1.00(cm)	学生2・高齢者2	学生2	8
追越	壁あり	9km/h	0.50, 0.75, 1.00(cm)	学生2・高齢者2	学生2	8
		18km/h	0.50, 0.75, 1.00(cm)	学生2・高齢者2	学生2	8
	壁なし	9km/h	0.50, 0.75, 1.00(cm)	学生2・高齢者2	学生2	8
		18km/h	0.50, 0.75, 1.00(cm)	学生2・高齢者2	学生2	8
自転車と自転車の対向・追越						
方向	壁	自転車B速度	回避幅	自転車A	自転車B	実験数
対向	壁あり	12km/h	0.75, 1.00(cm)	学生2	学生2	4
		18km/h	0.75, 1.00(cm)	学生2	学生2	4
	壁なし	12km/h	0.75, 1.00(cm)	学生2	学生2	4
		18km/h	0.75, 1.00(cm)	学生2	学生2	4
追越	壁あり	12km/h	0.75, 1.00(cm)	学生2	学生2	4
		18km/h	0.75, 1.00(cm)	学生2	学生2	4
	壁なし	12km/h	0.75, 1.00(cm)	学生2	学生2	4
		18km/h	0.75, 1.00(cm)	学生2	学生2	4

自転車Aの速度は9km/h

## a) 実験方法

実験には徳島大学構内の駐車場付属通路で幅員6m、延長100mの直線区間を使用した。観測対象区間は15mで、3m幅の通路と被験者通行位置の直線ラインを表示している。

実験は、被験者A（常に自転車）に対して被験者B（歩行者もしくは、自転車）がすれ違う場合と被験者Aが被験者Bを追い越す場合について行った。被験者にラジコン送信機を携帯させ、交錯前に「回避が必要と感じた時：リスク感知」の時点で送信機を操作させ、上方からビデオ観測しているビデオカメラ前面に取り付けた発光ダイオードを点灯させることで被験者がリスクを感知した瞬間の両者の位置を確認した。図-3に上方からのビデオ撮影画面を示す。リスク感知を送信した後、被験者Aは回避してもよいが、被験者Bは横断方向の位置を維持するように指示している。

## b) 実験条件

実験は、両者相対速度と横断方向距離（回避距離）、回避スペースの有無の3要因を組み合わせ、表-2の実験ケースを実施した。速度と回避幅は自転車Aの通行位置と速度を指示し、回避空間の有無に

表-3 ニアミスモデルの推定結果

流動タイプ		歩行者or自転車B				
		対向		追越		
モデルNO		PBA1	PBA2	PBT1	PBT2	
上段II係数	共通	相対時間距離(秒)	-1.370	-1.226	-2.951	-2.672
			34.942	34.859	38.922	38.286
	回避幅(m)		-3.256	-1.873	-2.842	-2.641
			18.830	20.313	15.154	26.163
	壁有り時回避幅(m)		0.343	-	0.373	-
			3.423	-	11.562	-
	壁有りダミー		-	-	-	-
			-	-	-	-
	高年齢時回避幅(m)		1.832	-	-	-
			12.142	-	-	-
高年齢者ダミー		-1.921	-	-	-	
		14.353	-	-	-	
共通	定数	4.302	2.940	4.121	4.163	
		31.359	35.307	33.801	40.439	
サンプル数		7291		8161		
リスク感知数		3249		3933		
適合度 $\rho^2$		0.492	0.459	0.637	0.612	
リスク感知無し		71.2	70.5	77.4	77.4	
リスク感知有り		84.2	82.6	86.5	86.8	
全サンプル		77.9	76.7	82.0	82.1	

流動タイプ		自転車Aor自転車B				
		対向		追越		
モデルNO		BBA1	BBA2	BBT1	BBT2	
上段II係数	共通	相対時間距離(秒)	-2.123	-1.925	-6.330	-4.561
			13.308	13.407	-19.473	-19.146
	回避幅(m)		-6.273	-5.676	-6.800	-5.206
			15.708	15.984	-25.596	-27.694
	壁有り時回避幅(m)		-	-	-	-
			-	-	-	-
	壁有りダミー		1.627	-	2.926	-
			7.051	-	17.537	-
	共通	定数	4.757	5.162	5.113	5.017
			13.802	15.379	21.560	25.300
サンプル数		2079		3486		
リスク感知数		550		1453		
適合度 $\rho^2$		0.749	0.716	0.774	0.683	
リスク感知無し		87.4	86.7	88.3	84.5	
リスク感知有り		90.4	90.0	88.2	85.3	
全サンプル		89.0	88.4	88.2	84.9	

については、一方の被験者側にある壁の設置位置を変化させた。速度指示は、実験前に速度計付き自転車で行先を指示して指示速度を学習させる方法をとった。壁は段ボール製で、被験者Aの通行位置から105cmの位置に設置した場合を「回避空間がある状態：壁なし」とし、被験者Aが歩行者の場合で30cm、自転車では50cmの位置を「回避空間のない状態：壁あり」とした。各ケースについて被験者を変えて4回～8回繰り返している。被験者は自転車は学生2名が担当し、歩行者は学生4名と高齢者4名(65才～69才)がランダムに交代して担当している。

### c) ビデオ計測の方法

ビデオ画像から実験観測区間内での各主体の軌跡(時刻毎の位置)と、各々がリスク感知した時の時刻を計測した。これから、リスク感知時の2主体間の相対位置と両者の速度を推定した。自転車はNTSCビデオの6フレーム(0.2秒)、歩行者は15フレーム(0.5秒)毎に被験者の画面上座標(X,Y)をPC画面上でマウス入力し、路面上の既知点の画面座標上方から射影変換パラメータを推定し、道路路面上の座標に変換した上で補間して、0.1秒ごとの位置と速度からなる軌跡情報を作成した。

### d) リスク感知モデルのパラメータ推定結果

対向、追越しの2主体それぞれがリスク感知地点は当然異なる。被験者Aが他のBより先にリスクを感知して回避行動を始めてしまうと、Bのリスク感知が生じない場合も起こる。また、BがAに追い越される場合はBのリスク感知は困難となる。このため、ここでは被験者A、B2主体のうち、どちらか一方でもリスクを感知した状態で、両者にとって「ニアミス状態」が生じたと見なすことにし、この状態が生起する確率を相対位置と速度から予測するモデルを作成した。

説明変数は共通変数を相対時間距離(Y/V)、回避幅(X)とし、壁ダミー変数、高齢者ダミー変数、さらに回避幅変動に対する感度の差を見るため壁あり時、高齢者時のみ値をもつ回避幅の固有変数(壁あり時回避幅、高齢者時回避幅)を加えた。

モデル推計は非集計型(非説明変数は0-1)とするため、2人の被験者が交差する時点以前3秒間0.1秒ごとの両者の位置と速度を求め、ABともにリスクを感知しない間は、ニアミス状態なしとするサンプルを作成する。さらにどちらかがリスクを感知した後は、速度と回避幅をその時点のままとして、交差するまで接近を続けた場合の位置を0.1秒ごとに推計し、これらの位置ではニアミス状態が生じるとしたサンプルを作成した。これをデータとして二項ロジットモデルの最尤法推計法を適用し、パラメータを推定した。

表-3にパラメータの推定結果を示す。尤度改善を条件とする変数増加法を用いて変数選択を行い、最も多くの変数が導入されたモデルと共通変数のみによるモデル2種類を示している。適合度を示す自由度修正済みの $\rho^2$ 値では0.459～0.774程度でほぼ良好な結果を得ている。適中率についても76.7%から89.0%となっている。

パラメータ推定結果を見ると、相対時間距離および回避幅はいずれの場合も有意な変数となっている。図-4、図-5は、歩行者と自転車の対向と追越し、自転車同士の対向と追越しについて、回避幅の変化によるニアミス生起確率をモデルで推定した結果を示したものである。相対時間距離が0秒の場合について表示している。

いずれの場合も回避幅が狭くなればニアミス生起確率が上昇するが、自転車同士の方が自転車対歩行者より明確な閾値を持っており、自転車同士では対向で1m、追越しでは壁の有無に影響を受けるが1m～1.5m程度を下回ると急激にニアミスの発生確率が高くなっている。歩行者と自転車の場合は1.5mより狭くなると生起確率が50%を超えるようにな

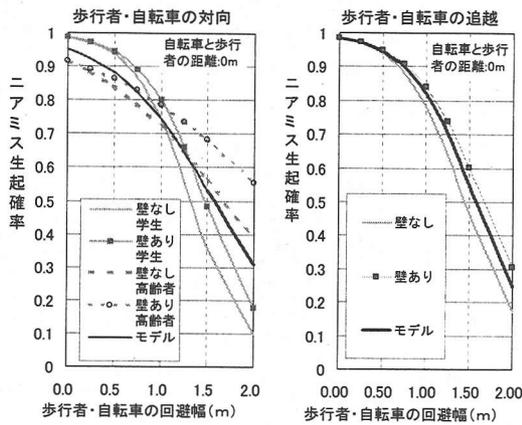


図-4 自転車・歩行者のニアミス生起曲線

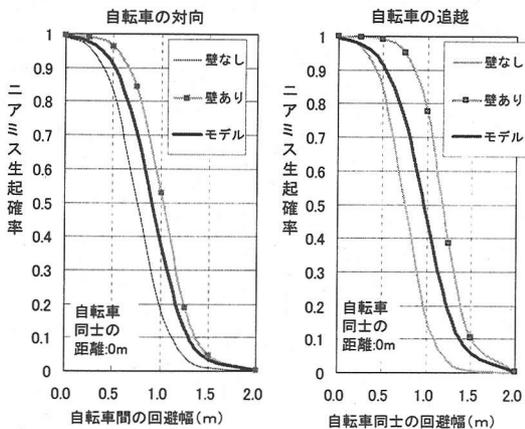


図-5 自転車同士のニアミス生起曲線

るが、それ以下での生起確率は緩やかな上昇となっている。壁、すなわち回避空間の有無は、自転車同士の追越し時のニアミス生起確率に影響しているが、その他の状況ではさほど影響は大きくない。また、高齢者については、歩行者と自転車の対向時に高齢者は回避幅の減少に対してより感度が低く、同じ回避幅では学生より高い確率でニアミスが生起する傾向が示されている。ただし、個人属性に関わる影響の妥当性については、今後、被験者属性や実験数を拡大し、ニアミス（リスク感知）の個人間ばらつきなどを検討する必要があるが残っている。以上から、回避幅と相対的な時間距離が、ニアミス状態を判断する上での重要な要因であることは明らかと言える。

#### 4. 混在交通の評価指標の開発

開発したニアミスモデルを用いて、実際の自歩道での交通流動のビデオ観測からニアミス指標を計測

表-4 分析対象路線

タイプ	歩道有効幅員	自転車混入率	
		40%未満	40%以上
A	2.5m未満	東京都西大島大橋通	徳島市二軒屋 高松市栗林線
		東京都西大島明治通	徳島市かちどき橋
B	2.5~3.5m	徳島市一番町(朝)	徳島市一番町(夕)
		東京都日本橋あさひ銀行前	徳島市元町
C	3.5m以上	東京都日本橋千葉銀行前	高松市国道30号



0.5m

図-6 分析対象路線でのビデオ観測方法

する。これからニアミス指標によるサービスレベルを設定し、交通状況や評価指標との関連を把握した。

なお以下では、歩行者属性と壁の有無（回避空間）については考慮しないこととした。特に個人属性については上記のようにその影響の把握が十分とは言えないことに加え、ビデオ画像の自動分析を用いて実際の交通流を評価する際に高齢者の判別は困難であることを考慮した。回避空間の有無も、刻々と変化する状況の考慮が難しいことや、自転車同士の追越しを除くと影響が小さいことなどを考慮した。

#### (1) 分析対象路線と調査の概要

##### a) 分析対象路線

分析対象とした自歩道および自転車通行可の歩道11路線を表-4に示す<sup>1)</sup>。対象路線は有効幅員、自転車混入率から6タイプに分類して抽出している。

##### b) ビデオ観測の方法

観測区間は図-6（ビデオ観測画像）に示すように5m間隔で数個の（通常4断面）断面に区切り、各断面を0.5m間隔で区切って通行帯を明示した。ビデオカメラは長さ5.4mポールの先端に取り付け、観測区間わきに立つ電柱や街灯にベルトを用いて固定することで観測区間を上方から撮影されている。

#### (2) 交通環境指標

対象路線で刻々と変化する交通状況を表すため、以下の指標を5秒間ごとに算定した。

##### a) 混入率

ここでの自転車混入率とは、ある空間内に存在して走行している（方向は問わない）“自転車数”の

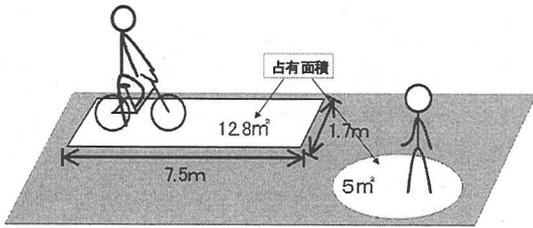


図-7 歩行者・自転車の占有面積

表-5 回避行動の分類

回避レベル	歩行者	自転車
1	上腕の回避	身体のみ回避
2	身体の回転	回避
3	停止	停止

“自転車と歩行者の総数”に対する比率(%)である。以下では歩行者と自転車の混合交通の評価を目的としているため、混入率が0%ないしは100%となる場合、すなわち観測空間が5秒間常に歩行者のみであった場合、ないしは自転車のみであった場合は分析の対象から除いている。

b) 存在密度

存在密度とは、ある一定の区間内に存在している交通主体の面積当たりの主体数と定義する。単位は人/100㎡とした。歩行者、自転車とも1人とし、0.1秒ごとに算出し、5秒間の平均を用いた。

c) 歩行者換算存在密度

歩行者と自転車の占有空間を考慮するため、自転車1台を歩行者に換算して、区間面積あたりの歩行者数を算出したものである。両者の占有空間<sup>11)</sup>は図-7に示す設定を用いた。歩行者は自由歩行に必要な空間5㎡、自転車は7.5m=停止距離と占有幅1.7mから12.8㎡と想定し、この比2.56を自転車1台の換算歩行者数として用いている。

(3) 混在交通評価のための指標

a) 回避挙動

被験者が他の主体とすれ違った時または追い越し追い越されたときの回避行動を分類し、ビデオから目視によって回避行動が起こった時刻(約1/30秒間隔ビデオフレーム値)、行動の分類、主体の属性を入力した。回避行動は表-5に示す分類とした。

b) 自転車の平均速度

観測区間内の自転車の空間平均速度を0.1秒おきに算定し、これを5秒間で時間平均した値を用いた。

c) 被験者による意識

観測道路では歩行者、自転車それぞれ3~6名の被験者を通行させ、通行後に他主体の影響度、安全感、危険感を7段階評定尺度で計測した。被験者は

5秒間ニアミス強度

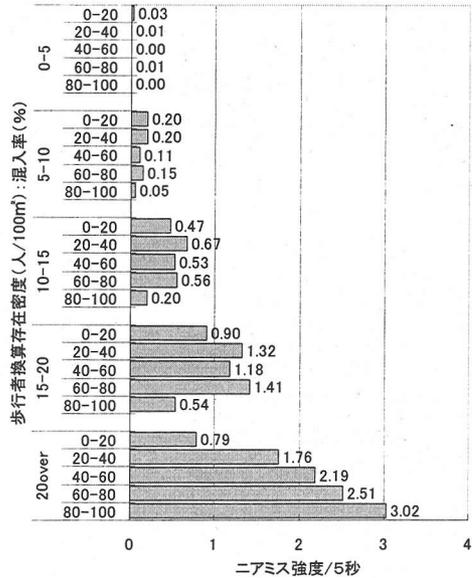


図-8 歩行者換算存在密度および混入率毎のニアミス強度

全て学生で、一人60回程度観測区間を通行しており、総サンプルは3223人・回である。これらの被験者は指標算出等において一般の通行者に含めている。

d) ニアミス強度

0.1秒ごとに観測区間内の主体ペアについて、ニアミス生起確率を算出し、さらに全主体ペアの確率を5秒間合計した値をニアミス強度とした。

5. 混合交通におけるサービスレベルの提案

(1) 評価指標と交通状況指標の関連

図-8は歩行者換算存在密度、自転車混入率別にニアミス強度の平均値を表したものである。密度が高くなるにつれて強度が増加している。特に高密度の場合、混入率の増加とともに強度が増加している。

(2) ニアミス強度によるサービスレベル

上記の結果から、ニアミス強度を用いて0.5きざみで5段階(A:0.5未満, B:0.5~1.0, C:1.5~1.5, D:1.5~2.0, E:2.0以上)のサービスレベルを設定した。ニアミス強度の境界値は全11路線での5秒間ごとのニアミス強度値を推定して、その分布から設定した。すなわち、5秒間内で2主体以上が観察空間内に存在してニアミス生起確率が推計されたのは全体で131分(総観測時間878分の15%)あり、そ

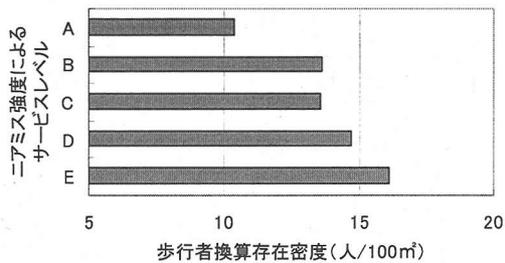


図-9 ニアミス強度によるサービスレベル別の歩行者換算存在密度

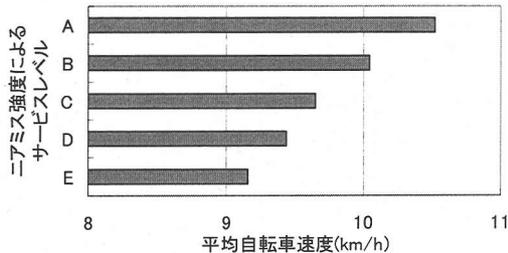


図-10 ニアミス強度によるサービスレベル別の平均自転車速度

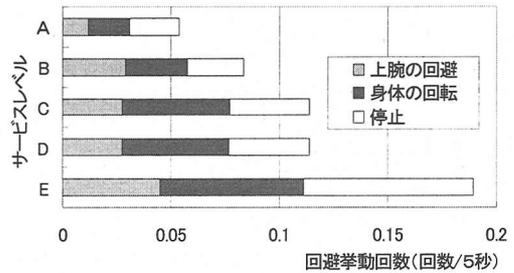


図-11 ニアミス強度によるサービスレベル別の歩行者の回避挙動頻度

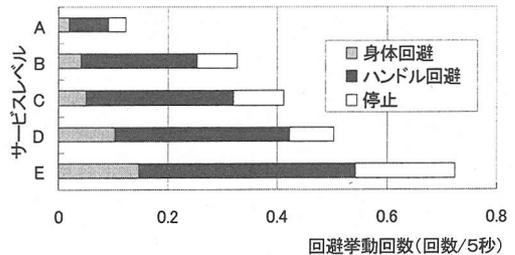


図-12 ニアミス強度によるサービスレベル別の自転車の回避挙動頻度

の内の50%がニアミス強度0.5回/秒未満で、95%が2.0回/秒未満であった。これから0.5回/秒未満をA、2.0回/秒以上をEとして、それ以外のB、C、Dを便宜的に指標値を等間隔で区切って設定している。こうして設定したサービスレベルは、開発したニアミス強度指標が混在交通の評価指標として妥当性を有することを示し、サービスレベル設定の可能性を示すためのものである。整備目標設定や設計基準設定に利用するサービスレベルでは、より多くの路線・時間帯でニアミス指標を計測して、レベルの境界値を再検討することが必要と言える。

### (3) サービスレベルと交通状況の関連性

図-9はサービスレベルと歩行者換算存在密度、図-10は自転車速度との関係を示している。サービスレベルが悪化するに従って、混雑、速度低下が見られる。また、図-11、図-12はサービスレベルと歩行者と自転車の回避挙動行動との関係を示したものである。回避挙動頻度とも相関が見られる。

### (4) サービスレベルと意識指標の関連性

#### a) 歩行者の意識

図-13はサービスレベルと歩行者の意識の関係を示している。図a)の自転車を気にする度合い(自転車の影響度)はサービスレベルの低下とともに、

「非常に気になる」「気になる」「少し気になる」とする人は増加している。

図b)の歩行者の危険感と図c)の不快感の関係をみると、レベルDまでは「非常に不快」「不快」「やや不快」とする割合がレベル低下とともに増加している。また「非常に快適」の割合は、レベルの低下とともに22%から9%へと低下している。レベルEでは危険感・不快感の改善が見られるが、これは密度が上がり自転車の停止などの挙動が増加して、歩行者優先性が高まっていることが原因と考えられる。

#### b) 自転車の意識

図-14はサービスレベルと自転車の意識の関係を示している。図a)の歩行者の影響度を見ると「非常に気になる」「気になる」の割合がレベルの低下とともにない(レベルDを除いて)24%から49%へと増加している。

図b)の他の自転車の影響度では、レベル低下で「非常に気になる」「気になる」「少し気になる」とする率が増加し、「非常に気になる」「気になる」「少し気になる」の割合も13%から41%へと増加する。図c)自転車の危険感の関係をみても歩行者の意識と整合して、レベルA～Dは相関が見られる。図d)ではレベルEまで「非常に不快」「不快」「やや不快」とする割合がレベル低下とともに24%から53%へと増加している。また、レベル低下とともに

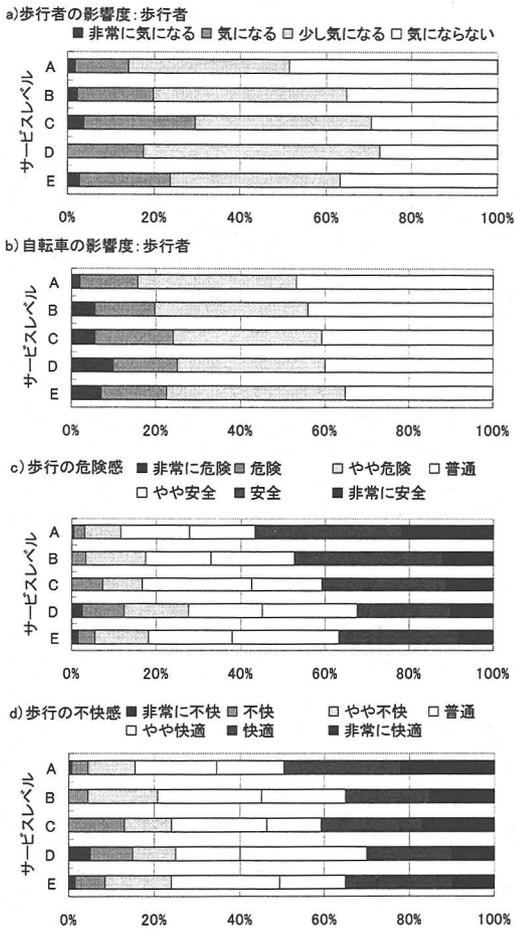


図-13 歩行者意識とサービスレベルの関係

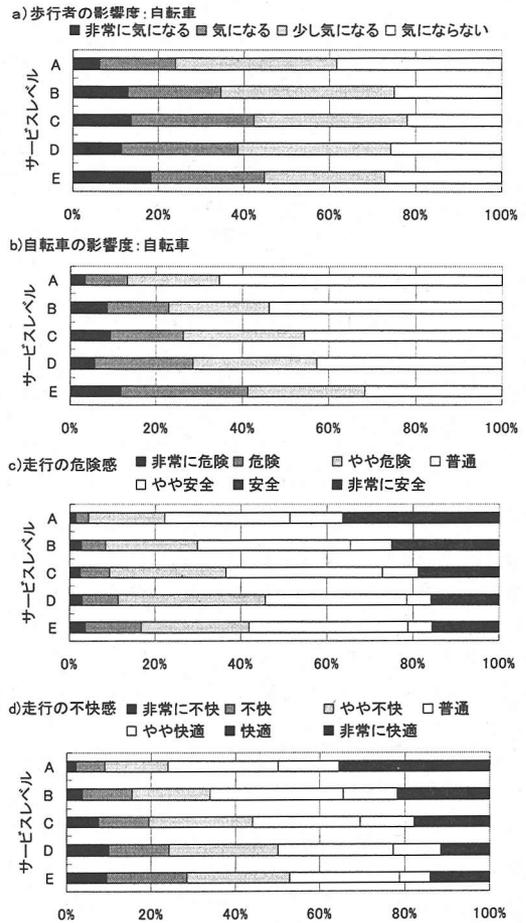


図-14 自転車意識とサービスレベルの関係

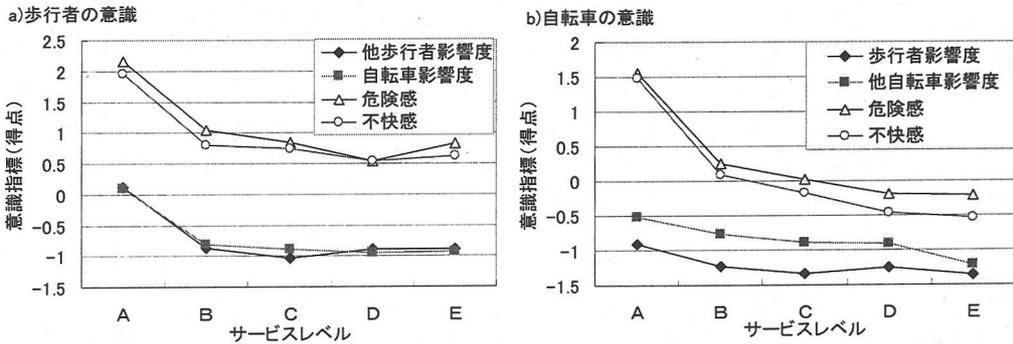


図-15 意識指標得点とサービスレベルの関係

「非常に快適」「安全」「やや安全」の割合が50%から21%へと低下している。

c) サービスレベルと意識指標得点の関係

図-15は、歩行者影響度および自転車影響度のカテゴリ評点を-3~3点とし、危険感と不快感につ

いては0~5点として平均評点を算出し、サービスレベル毎の平均を算出した結果を示している。レベルEからAへと得点が増加しており、サービスレベルによって通行者の意識を表現できることがわかる。

表-6 ニアミス強度から設定したサービスレベル毎の交通状況・意識指標

サービスレベル		A	B	C	D	E	
リスク感知強度(5秒間平均)※		0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0over	
交通状況指標	存在密度(人+台/100㎡)	7.04	9.20	8.77	9.55	10.11	
	歩行者換算存在密度(人/100㎡)	10.38	13.59	13.58	14.70	16.12	
	平均自転車速度(km/h)	10.52	10.04	9.65	9.44	9.16	
	交錯数(5秒間平均回数)※	0.73	2.74	4.22	4.32	9.79	
意識指標	歩行者	歩行者の影響度(%)※※	14.06	19.78	29.63	17.50	23.94
		自転車の影響度(%)※※	15.65	19.78	24.07	25.00	22.54
		歩行の危険感(%)※※※	11.66	17.58	16.67	27.50	18.31
		歩行の不快感(%)※※※	15.50	20.88	24.07	25.00	23.94
		回避挙動頻度(回/5秒)	0.05	0.08	0.12	0.07	0.19
	自転車	歩行者の影響度(%)※※	24.02	34.57	42.37	38.57	44.85
		自転車の影響度(%)※※	13.30	22.87	26.27	28.57	41.18
		走行の危険感(%)※※※	22.19	29.79	36.44	45.71	41.91
		走行の不快感(%)※※※	23.94	34.04	44.07	50.00	52.94
		回避挙動頻度(回/5秒)※	0.12	0.33	0.41	0.50	0.72

注)

※道路延長10mあたりの平均値

※※非常に気になる＋気になる＋少し気になると感じる人の割合  
 ※※※非常に危険＋危険＋やや危険と感じる人の割合  
 ※※※※非常に不快＋不快＋やや不快と感じる人の割合

### (5) サービスレベル別にみた交通環境状況

リスク感知強度を用いてサービスレベルを設定し、従来から用いられている回避挙動、速度、通行者の意識からなる交通環境の評価指標との関連を分析した。その結果、リスク感知強度は回避挙動や意識指標との関連性が高く、交通状況とその評価状況の変化を十分に表現できていることがわかった。

すなわち、ビデオ観測で交通主体の接近距離と速度を逐次観測すれば、それから予測できるニアミス強度指標を用いることで、混合交通の望ましさを計測することが可能と言える。表-6はニアミス強度指標によってサービスレベルを設定した場合に、そこで生じる交通状況と歩行者・自転車の意識を示すため、本研究で観測した区間での平均値をまとめたものである。今回の限られた観測区間での平均値であることを留意する必要があるが、レベルAからEへと、自転車速度の低下、密度の増加、通行時の意識指標の低下など交通状況が悪化することがわかる。

## 6. まとめ

### (1) 成果の整理

#### a) ニアミス予測モデルの開発

自転車と歩行者、自転車と自転車、自転車と車椅子のすれ違い時・追い越し時、いずれかの主体がリスクを感知する状態をニアミス状況と考え、このニアミス状態を両者の位置、速度から判断するニアミス予測モデルを提案し、路外における1対1の実験をもとにパラメータを推定した。

#### b) ニアミス強度指標による混在交通の評価

東京・高松・徳島の11路線での交通流動のビデオ観測データをもとに、上記のニアミス予測モデル

を刻々の空間利用状態に適用し、ニアミスの発生確率をカウントした。歩行者・自転車、自転車同士のすれ違い・追い越しによるニアミス発生確率の延べ合計値をニアミス強度指標として、交通密度、自転車混入率らの交通状況との関連を把握した。この結果、密度が高くなるほどニアミス強度指標は増加する傾向を示すことが明らかになった。また、回避挙動、自転車速度とニアミス強度指標の間にも線形関係があることが明らかになった。

#### c) ニアミス強度を用いたサービスレベルの提案

ニアミス強度を用いて5段階のサービスレベル設定を提案し、レベルごとの回避挙動頻度、自転車速度、通行者の意識を分析した。提案したレベルによって混在交通の望ましさを把握することが可能であることが明らかになりニアミス強度指標の混合交通の評価指標としての有効性を示すことができた。

### (2) 今後の課題

今回の実験の分析結果からは、側方の壁の有無が通行者のリスク・パーセプションに影響を与える因子となることがわかった。しかし、混在交通の多様な状態、たとえば側方に自転車や歩行者が通行している3者以上の錯綜状態や、駐輪などの部分的な路上占有物の存在などの影響を定量化することも必要と考えられる。また、今回は自転車Bの左方側には回避空間に十分な余裕を設けたが、現実には歩道幅員で制約されることの考慮も必要と言える。こうした空間状況のリスク感知への影響を考慮することが今後の課題である。

さらに、今回のニアミス強度指標では、利用者の属性の影響について考慮できていないが、例えば、商店街や通学路、高齢者施設付近の道路など、利用者タイプの異なる街路のサービスレベルの設定方法

の開発への発展を検討すべきと考えられる。今後、上記の課題や、サービスレベルの境界値設定の再検討などを進めるためには、多様な区間のデータ収集が必要と言える。

こうしたビデオ観測による評価方法を実際に用いるには、画像解析によるビデオ自動分析の利用が望まれるため、ビデオ解析ソフトの開発も研究課題としてあげられる。一方、交通・道路条件からニアミス強度を予測する手法を開発し、簡便なサービスレベルの設定法を開発することも重要な展開と考えられる。

さらに、通行帯設置、自転車速度の制御、歩道拡幅、段差解消、自転車の迂回誘導、時間分散化などの多様な施策の効果を分析することが必要と考えられる。これによって、自転車施策の費用効果把握へと展開が可能となる。

#### 補注

[1]本調査データは平成10～11年度建設省土木研究所・徳島大学・東京都立大学の共同研究での観測によるものであり、文献9)で使用したものと同一である。

謝辞：本研究は平成12年度～平成14年度文部科学省科学研究費基盤研究の助成を受けて行った研究の一部である。また、歩行者と自転車のリスク感知モデルの開発には、建設省土木研究所からの徳島大学への委託研究(平成12年度)の成果によるところが大きい。調査データの収集には山川仁教授(東京都立大学)、田宮佳代子氏(国土総合政策研究所)、濱田俊一氏(国土開発技術研究センター)の協力を得ている。記して謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) McClintock, H.: On the right track by foot and pedal, *Surveyor*, 28th March, pp.11-13, 1985.
- 2) Harland, D.G., Jacoby, R.G. and Pickering, D.: Footways used by cyclists and pedestrians, *Traffic Engineering and Control*, Vol.27, No.5, pp.283-287, 1986.
- 3) DOT/Welsh Office: Local Transport Note 2/86, *Shared-use by Cyclists and Pedestrians*, HMSO, 1986.
- 4) Local Transport Today: Does shared use have a future in promotion walking and cycling? News Extra, *Local Transport Today*, London, 20 July 2000.
- 5) CTC: *Cyclists and Pedestrians - attitude to shared-use Facilities - Research Report*, London, 2000.
- 6) Botma, H.: Method to determine level of service for bicycle paths and pedestrian-bicycle paths, *Transportation Research Record*, No.1502, pp.38-44, 1995.
- 7) たとえば、小柳純也, 木戸伴雄, 高田邦道: 自転車の歩道通行に関する走行実態, 第20回交通工学研究発表会論文報告集, pp.149-152, 2000.
- 8) 高岸節夫: 都市における自転車交通の管理運用方策に関する研究, 京都大学学位論文, pp.13～16, pp.33～54, 1993.
- 9) 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, pp.471～476, 2002.
- 10) 山中英生, 田宮佳代子, 山川仁, 濱田俊一: リスク・パーセプション予測モデルを用いた自転車・歩行者混合交通の評価, 第19回交通工学研究発表会論文報告集 pp.193-196, 1999.
- 11) 塚口博司, 黒田英之, 矢島敏明, 田中一史: 歩車のオキュパンスー指標を用いた住区内街路の評価に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.7, pp.219-226, 1989.

(2002. 8. 19受付)

## EVALUATION METHOD OF SHARED USE OF BICYCLES AND PEDESTRIANS USING NEAR-MISS INDEX AND PROPOSAL OF IT'S LEVEL-OF-SERVICE

Hideo YAMANAKA, Yoshitaka HANDA and Yuuki MIYAGI

The aim of this study is to develop a new evaluation method for shared use of bicycles and pedestrians from a view point of their comfort, and to propose the level-of-service of sidewalks with shared use of bicycles and pedestrians which are mainly adopted in Japan. In this study, a model is developed through off-road experiments, which can estimate the risk perceptions in the conflicts of bicycles and pedestrians. By employing this model, the evaluation index for mixed traffic using video survey is available. The index presents the predicted frequency of near-miss between cyclists and pedestrians. The author proposed new level-of-service for shared use of bicycles and pedestrians and clarified their relationship to traffic density, bicycle speed, level of safety sense of road users.