

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

Evaluation index for mixed traffic of pedestrians and cyclists considering the bicycles speed

山中英生*,田宮佳代子**,山川 仁***,半田佳孝****,
Hideo Yamanaka ,Kayoko Tamiya ,Hitoshi Yamakawa, Yoshitaka Handa,

1.はじめに

都市交通手段としての自転車の利用が注目を集めている。わが国では歩道上の自転車通行が認められているが、その適正な適用範囲に関する基準がなく、混在が不適切な歩道も多くみられるようになっている。本研究は、歩行者と自転車の混在交通状況における評価指標の開発を目的としている。本稿で示す調査をもとに交通挙動と通行者意識について分析した結果は文献 1) 2) に報告している。本稿では、自転車の走行速度に着目して、自転車・歩行者の存在密度、自転車混入率、進行方向が与える影響を回帰分析しこの式をもとにして自転車の快適性の視点から評価レベルを提案する。この評価レベルについて交通挙動、通行者意識を分析することで、混合交通環境を評価するための基準としての利用可能性を示す。

2. 調査の内容

(1) 観測路線と交通状況の観測

観測路線は自転車歩行者道および自転車通行可指定歩道を対象とし、歩道の有効幅員、自転車混入率を考慮して11 路線を選択した(表1)。 観測区間は、10~15mで5m間隔の断面を3~4 断面設定し、0.5m間隔で通行帯を明示している。図1のように上方よりビデオで撮影

し、自転車・歩行者の走行状態および回避挙動を観測した。図2~4に幅員ランクA(〜2.5m)、B(2.5~3.5m)、C(3.5m〜)の観測路線の例について撮影画像を示す。

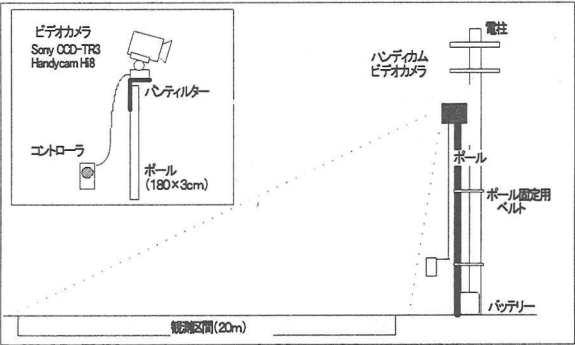


図1 観測機器概要図

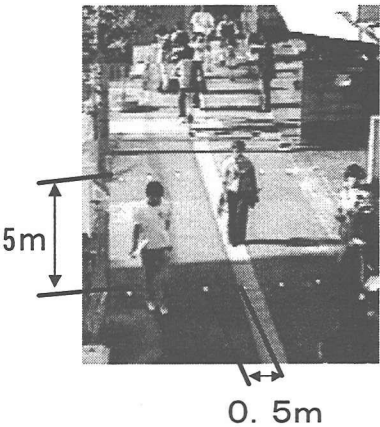


図2 撮影画像ランクA(二軒屋)



図3 観測画像ランクB(一番町)

表1 観測路線表

都市	地区名	有効幅員(m)	調査時間帯	単位幅員当り時交通量		自転車混入率 (%)
				自転車	歩行者	
東京	西大島	1.98	7:40~9:20	64	271	19
徳島	二軒屋	2.5	7:30~9:00	144	102	59
高松	一番町	2	7:45~9:00	185	212	47
東京	西大島	2.7	7:30~9:00	56	107	34
徳島	一番町	3.1	7:30~8:40	61	109	36
徳島	一番町	3.1	15:55~17:00	78	88	47
徳島	かちどき橋	3.3	7:40~9:20	106	38	73
東京	日本橋	4.2	13:00~14:10	41	236	16
東京	日本橋	3.6	10:15~12:30	66	266	20
徳島	元町	4.5	16:30~18:00	176	164	52
高松	紺屋町	4.7	11:00~13:00	72	76	49

キーワード：自転車交通行動，歩行者交通行動，交通流

*正会員 工専 徳島大学工学部 教授

**正会員 建設省土木研究所道路部道路研究室研究員

***正会員 工修 東京都立大学 助教授

****学生員 徳島大学大学院工学研究科建設工学専攻

(〒770-8506 徳島県徳島市南常三島2-1

TEL：088-656-7578,FAX:088-656-7579)



図4 観測画像ランクC (日本橋)

(2) 利用者意識調査

大学生男女計6～9人を被験者として実験区間を徒歩、自転車で走行させ、危険感、不快感の通行後評価と通行中の危険感知を調査した。通行後評価については、被験者が区間を通行するごとに通行時の危険感、不快感を回答させた。各路線とも1名平均、約60回通行している。通行時の危険感知は、被験者が危険を感知した瞬間を観測したもので、被験者にラジコンの送信機を携帯させ、区間を通過しているときに危険と感じた時点で送信機を操作させた。この反応はラジコン受信機からレベルメーターに表示され、これをビデオ撮影することで、危険感知の時刻から被験者の位置を求め、上方ビデオと合わせることで位置を測定した。

3. 交通状況を表す指標

(1) 歩行者換算存在密度

ここで「存在密度」とは、ある路上に存在している交通主体の面積当たりの主体数をいう。ただし、歩行者と自転車では歩道の空間占有状態が異なり、自由な走行に必要な1人(または1台)あたりの空間(スペースモジュール)は歩行者よりも自転車が大きいと考えられる。そこで本研究では、交通主体による空間占有状態の違いを考慮するために、区間内の自転車1台を歩行者に換算し、区間面積あたりの歩行者数を算出した「歩行者換算密度」を用いることとした。

塚口²⁾はスペースオキュパンシー指標の算定において、歩行者が自由な歩行に必要な占有面積を5.0m²、自転車は停止距離を想定して、1台あたりの自由走行に必要な空間を12.8m²(7.5m×1.7m)と設定している(図5)。

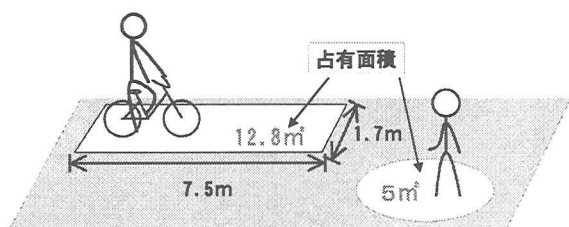


図5 観測区間における占有面積

本研究ではこの値を用いて、自転車の換算係数として両者のスペースモジュールの比2.56を自転車1台の換算歩行者数とした。このスペースモジュールの比は、自転車の速度によって変化するものではあるが、以下の分析ではこの密度を速度の要因として扱うことから速度の影響は考慮しないこととしている。したがって自転車を歩行者に換算した歩行者換算存在密度 M は次式となる。

$$M = \frac{S_c}{S_p} \times M_c + M_p = 2.56 \times M_c + M_p$$

M : 歩行者換算存在密度

S_c : 12.8m² (自転車1台の占有面積)

S_p : 5.0m² (歩行者1人の占有面積)

M_c : 区間内の自転車存在密度 (台/m²)

M_p : 区間内の歩行者存在密度 (人/m²)

なお、この換算係数を用いた歩行者換算存在密度は塚口のスペースオキュパンシー値と以下の関連となる。

スペースオキュパンシー値(%)

= 歩行者換算存在密度 (人/100m²) × 5.0 (m²/人)

換算密度はオキュパンシーに比べて自転車と歩行者の換算係数のみが設定値となり、仮定が少ないこと、指標値が理解しやすいといった利点がある。

(2) 自転車混入率

全交通量に対する自転車の交通量を示す値であり、ここでは区間内に存在している“自転車数”の“自転車と歩行者の総数”に対する比率としている。

(3) 方向率

交通の進行方向の偏りを示す指標である。ある区間において、“交通主体の総数(往復合計交通量)”に対する“方向別主体数”の割合のうち、小さい方の値(0～50%となる)を用いた。すなわち、方向率が0%に近づくほど一方向に偏っており、50%に近づくほど双方向に流れていることになる。

(4) 指標の算出時間単位

上記の指標はすべて空間平均値として算出される一定区間内の瞬間値であり、これは刻々と変化するものである。そこで観測開始から0.2秒間ごとの交通主体の位置と速度をすべて推計し、指標値を5秒間ごとに時間平均した値を用いることにした。なお、集計時間として10、20秒とした場合についても自転車速度等との関連を分析したが、区間を自転車が通過する時間(3～4秒)であることより説明力の高かった5秒間を採用した。

4. 自転車速度と存在密度、自転車混入率、方向率の関係分析

(1) 平均自転車速度と歩行者換算存在密度の関係

図6は全区間について上記の方法で求めた5秒間ごとの平均自転車速度と歩行者換算存在密度の関係を示している。歩行者換算存在密度が増加するほど自転車速度が低下し、一定の範囲に収束する傾向が見られる。密度の低い状態では安全にすれ違いや追い越しといった行動をとることが可能なため、自転車速度は高速から低速まで広く分布している。しかし、密度が大きくなると、自転車速度は高密度状況での歩行者の速度と同程度である5km/h程度に収束している。これは、前方の歩行者により自転車速度が抑制されるためであると考えられる。

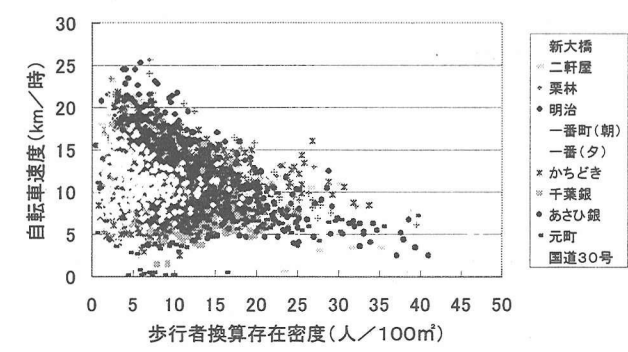


図6 自転車速度と歩行者換算存在密度

(2) 85 パーセンタイル自転車速度への影響

図6のように速度と換算密度は三角分布の形をとっており、密度が低い状況では高速度に限るわけではなく、高速から低速まで広く分布している。そこで、各速度において走行可能性を示す上限値として85パーセンタイル値を用いた。図7は各歩行者換算存在密度(5人/100m間隔)における自転車の85パーセンタイル速度を示したものである。これによると密度が増加するに従って速度が減少していることがわかり、0~5と15以上の部分においては約5km/時の違いがあらわれている。

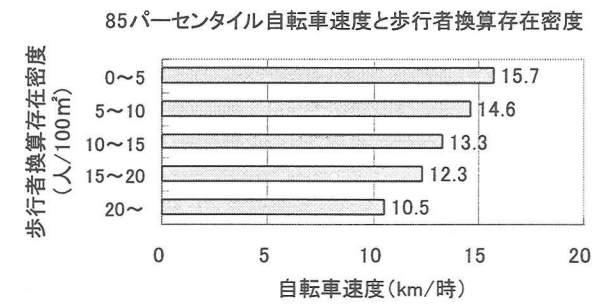


図7 歩行者換算密度と85パーセンタイル自転車速度との関係

(3) 回帰分析による自転車速度の85パーセンタイル値と各指標との関係分析

歩行者換算存在密度を5人/100m間隔、自転車混入率

を20%間隔、方向率を10%間隔でそれぞれ5段階にわけて組み合わせることで路線状況を125区分に分類した。全路線のデータを用いて区分ごとに85パーセンタイル自転車速度を算出した。なお、サンプル数が3以下の区分は除外して分析を進めた。

この各区分の85パーセンタイル自転車速度を求めたものを被説明変数として、歩行者換算存在密度・自転車混入率・方向率の範囲の中央値を説明変数として重回帰分析を行った結果を表2に示す。

表2 回帰分析によるパラメータ推定値

	係数	標準誤差	t値	有意確率
定数	15.9390	0.3459	46.0815	0.0000
歩行者換算存在密度	-0.2570	0.0165	-15.5201	0.0000
絶対値(自転車混入率-70)	0.0077	0.0055	1.4190	0.1586
方向率	-0.0144	0.0080	-1.7897	0.0762
R	0.827			
R ²	0.684			

自転車混入率については、混入率の低い状態と高い状態で速度が高くなる谷上の分布が見られることから、折線関数や二次関数等の導入を試した。この結果、70%を谷として直線的に速度上昇する形の関数が選ばれた。また、85パーセンタイル自転車速度の実測値と予測値の関係を表す散布図を図8に示す。

これによると、自転車速度(85パーセンタイル速度)の要因として歩行者換算存在密度が有意であることは明らかである。また、方向率、自転車混入率についてはt検定ではそれぞれの危険率が7.6%、15.9%とやや有意性は低くなっている。ただし予測値のグラフで見るとこの2つの要因を除いた場合に比べ、よりよく実測値の分散状況と適合している。以上のことから、自転車歩行者混在交通のサービスレベルの設定には方向率、混入率の考慮は必要と考えられる。

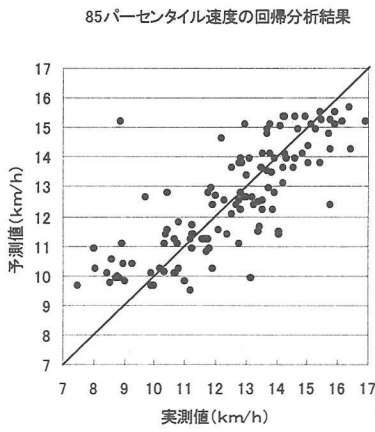


図8 85パーセンタイル自転車速度の実測値と予測値との関係

5. 自転車歩行者混合交通の評価レベルの設定

算出された85パーセンタイル自転車速度の回帰式に説明変数として各指標で設定した範囲の中央値(0~5の

場合 0.25) を代入した。推定された 85 パーセンタイル速度別に混合交通の状態を示す評価レベルを表 3 のように設定した。

また、各レベルと歩行者換算存在密度、自転車混入率、方向率の関係を表 4 に表す。

表 3 85 パーセンタイル速度と評価レベル

評価レベル	自転車の 85 パーセンタイル 速度
レベル A	14km/h～
レベル B	13～14km/h
レベル C	12～13km/h
レベル D	11～12km/h
レベル E	～11km/h

表 4 自転車の走行速度推計値に着目した評価レベルの分類

歩行者換算存在密度 (人/100㎡)	方向率(%)	混入率(%)				
		0～20	20～40	40～60	60～80	80～100
0～5	0～10	15.69	15.54	15.38	15.22	15.38
	10～20	15.55	15.39	15.24	15.08	15.24
	20～30	15.40	15.25	15.09	14.94	15.09
	30～40	15.26	15.10	14.95	14.79	
	40～50	15.12	14.96	14.80	14.65	
5～10	0～10	14.41	14.25	14.10	13.94	14.10
	10～20	14.26	14.11	13.95	13.80	13.95
	20～30	14.12	13.96	13.81	13.65	13.81
	30～40	13.97	13.82	13.66	13.51	13.66
	40～50	13.83	13.68	13.52	13.36	13.52
10～15	0～10	13.12	12.97	12.81	12.66	12.81
	10～20	12.98	12.82	12.67	12.51	12.67
	20～30	12.83	12.68	12.52	12.37	
	30～40	12.69	12.54	12.38	12.22	12.38
	40～50	12.55	12.39	12.24	12.08	12.24
15～20	0～10	11.84	11.68	11.53	11.37	11.53
	10～20	11.69	11.54	11.38	11.23	11.38
	20～30	11.55	11.40	11.24	11.08	11.24
	30～40	11.41	11.25	11.10	10.94	11.10
	40～50	11.27	11.12	10.95	10.80	10.95
20～	0～10	10.55	10.40	10.24	10.09	10.24
	10～20	10.41	10.25	10.10	9.94	10.10
	20～30	10.27	10.11	9.96	9.80	9.96
	30～40	10.12	9.97	9.81	9.66	9.81
	40～50	9.98	9.82	9.67	9.51	9.67



6. 設定レベルにおける交通環境状況の分析

次に各評価レベルの交通環境の状態を評価するため、歩行者・自転車の回避挙動、危険感知、意識をレベルごとに集計した。

(1) 回避挙動

図 9 は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、10 分あたりの回避回数を歩行者、自転車それぞれサービスレベルごとにまとめたものである。レベルが A～E と下がるにつれて歩行者、自転車ともに回避挙動回数が増加していることがわかる。レベル E の歩行者挙動において停止回数が減少しているが、これはレベル E が非常に高い密度状況で発生しており、その状況下では自転車が歩行者速度にあわせて低速度で走らざるをえない状況が頻繁に起きていると考えられる。このため、歩行者は停止することなく回避することが可能な場合が増加し、そのかわり自

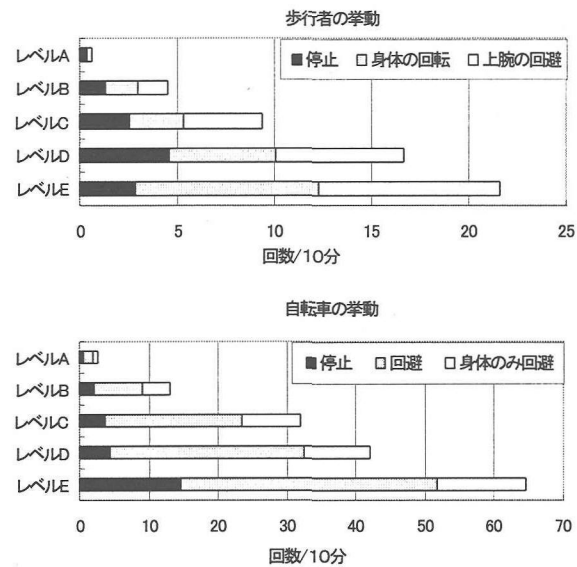


図 9 回避挙動回数

転車は停止回数が増加しているといえる。

(2) 危険感知頻度

図 10 はラジコンによる危険感知調査をもとに、被験者が観測区間を通過中に危険と感じた 1 分あたりの回数を歩行者、自転車それぞれについてサービスレベルごとに示したものである。自転車のレベル A を除けばレベルが A～E になるにつれて歩行者、自転車ともに危険感知回数が増加しているといえる。

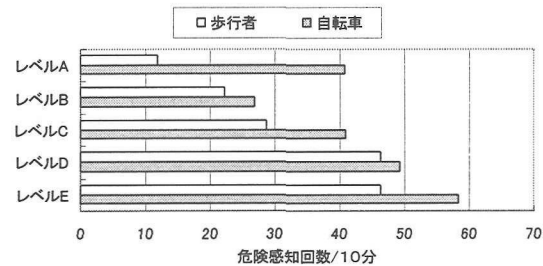


図 10 危険感知回数

(3) 歩行者の影響

図 11 は走行後の意識調査により歩行者、自転車が感じる歩行者の影響について解答の割合を示したものである。歩行者、自転車どちらもレベルが下がるにつれて歩行者の影響を感じやすくなっているといえる。

(4) 自転車の影響

図 12 は歩行者、自転車が感じる自転車の影響について解答の割合を示したものである。どちらもレベルが下がるにつれて自転車の影響度が増加しているが、歩行者に比べて自転車の方が、より他の自転車の影響を受けやすくなるといえる。

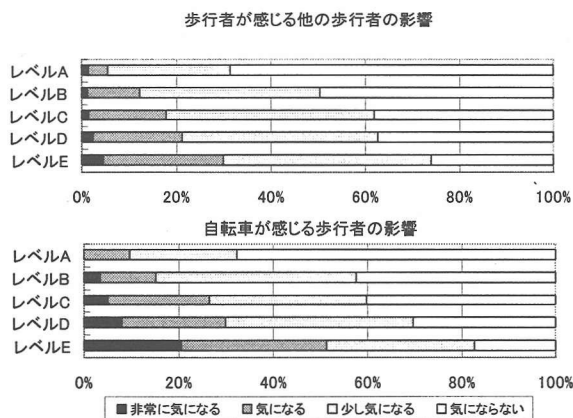


図 11 歩行者の影響度

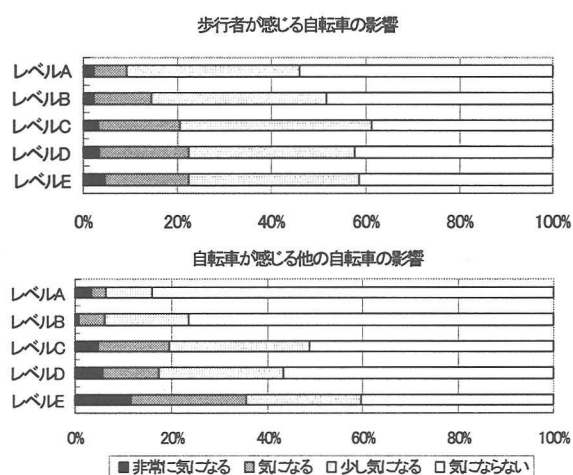


図 12 自転車の影響度

(5) 危険感、不快感

図 13、14 は歩行者、自転車が感じる危険感と不快感についてそれぞれ示したものである。これよりレベル E では自転車は約 5 割のものが危険、不快と感じているといえる。

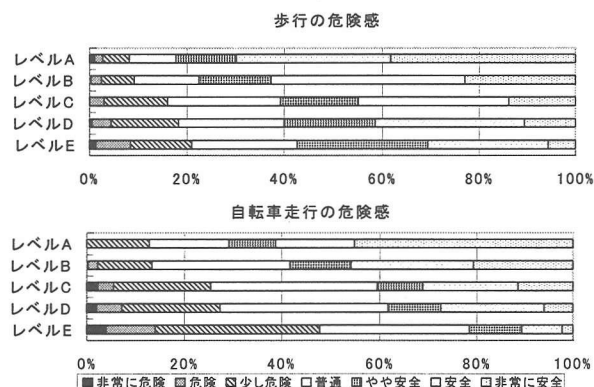


図 13 通行者の危険感

(6) まとめ

表 5 にレベルごとの指標の平均値を示す。

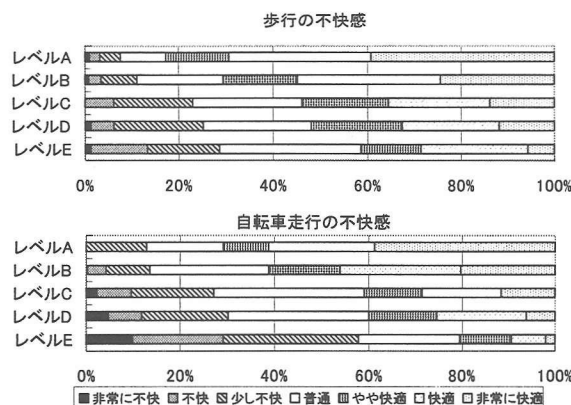


図 14 通行時の不快感

表 5 混在交通の評価レベルにおける交通状況

サービスレベル	交通主体	A	B	C	D	E
85 パーセンタイル自転車速度 (km/h)	自転車	14~	13~14	12~13	11~12	~11
危険感知回数/時間(10分)	歩行者	11.9	22.3	28.7	46.2	46.3
	自転車	40.8	26.9	41.0	49.3	58.2
回避行動回数/時間(10分)	歩行者	0.6	4.5	9.4	16.7	21.6
	自転車	2.5	13.0	32.0	42.0	64.5
歩行者意識度(%)	歩行者	31	50	62	63	74
	自転車	32	57	60	70	83
自転車意識度(%)	歩行者	46	52	61	58	59
	自転車	16	24	49	43	60
通行時に感じた危険感(%)	歩行者	8	9	16	18	21
	自転車	13	13	25	27	48
通行時に感じた不快感(%)	歩行者	8	11	23	25	29
	自転車	13	13	27	30	58

ただし

回避行動回数(歩行者): 停止 + 身体の回転 + 上腕の回転を行った回数

(自転車): 停止 + 回避 + 身体のみ回転を行った回数

意識度: 非常に気になる + 気になる + 少し気になる とした人の割合

危険感: 非常に危険 + 危険 + 少し危険 とした人の割合

不快感: 非常に不快 + 不快 + 少し不快 としたひとの割合

レベル A (85 パーセンタイル自転車速度が 14 km/時以上) の状態では、通行の危険を感じるのは歩行者で 8%、自転車で 13% が危険を感じる。不快感は歩行者で 8%、自転車で 13% 以下となっており、問題のない快適なレベルとなっている。

サービス E (85 パーセンタイル自転車速度が 11 km/時未満) の状態では、危険感知回数が歩行者で 46.3 回/10 分、自転車で 58.2 回/10 分であり、回避行動回数が歩行者で 21.6 回/10 分、自転車で 64.5 回/10 分である。また、通行の危険感歩行者で 21%、自転車で 48% が危険を感じる。通行の不快感は歩行者で 29%、自転車で 58% であり、改善が必要なレベルといえる。

このようにレベル低下によって大半の指標が低下しており、このレベルによって混合交通の総合的な環境を評価することができるといえる。

7. 10 分間交通量とサービスレベル別生起確率

サービスレベルは、表 2 の 85 パーセンタイル速度推定式を用いて推定速度を算出すれば求めることができるが、上記式ではビデオシステムからの密度測定や 5 秒間の集計値を用いるなどしており、一般に観測される交通量等から推定するのが難しい。そこで、10 分間の交通量、方向率、混入率、幅員のみからサービスレベルの生起する確率を求めてられる簡便な評価方法を検討した。

11 路線の観測結果として得られている歩行者、自転車交通量の 5 秒間集計値より、それぞれの 10 分間移動平均を算定し、各 10 分間移動平均をもとにして混入率、方向率、換算密度を推定した。なお換算存在密度は交通量、幅員から以下のように推定している。ここでの歩行者速度、自転車速度は観測されていないデータを用いていることを想定して一定値としている。幅員は有効歩道幅員である。

換算密度 (人/100m) = $Q_p \times 60 / V_p / W$
+ $Q_b \times 60 / V_b / W \times 2.56$

Vp: 歩行者速度 4 (km/h) Qp: 歩行者交通量 (人/10分)

Vb: 自転車速度 10 (km/h) Qb: 自転車交通量 (人/10分)

W: 幅員 (m)

こうして 10 分間交通量から求めた換算密度、混入率、方向率と表 2 の回帰式を用いて 85 パーセンタイル速度推計値 (推計 10 分間自転車速度) を求めた。密度、方向率、混入率(5 秒間値)から求めているサービスレベル (表 4) について、上記の 10 分間推計値のランクごとの生起割合を整理したのが図 15 である。

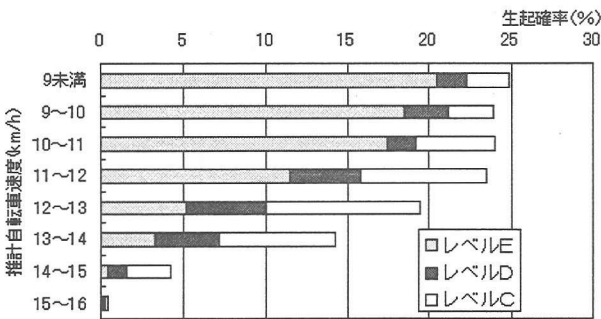


図 15 サービスレベル別生起確率

推計 10 分間自転車速度が減少するのに比例してサービスレベル E と D の生起確率は増加している。この推計速度が 11km/時未満となる交通状況はサービスレベル E の状態が 17~20%生じており、サービスレベル C 以下の状態でみると 24%程度生じることから問題の多い交

通状況といえる。推計速度が 12km/時未満ではサービスレベル E の状態は 12%程度に落ちるが、サービスレベル C 以下となる状況は 24%生じる要注意レベルである。推計速度が 15km/時間未満ではサービスレベル E は 10%以下となり、15km/時間を越えるとほぼ問題のないレベルといえる。

8. おわりに

本研究では、自転車と歩行者が混在する自歩道等を対象として、自転車速度の 85 パーセンタイル値に着目して評価レベルを提案し、このレベルによって自転車・歩行者の快適性や安全感などの交通環境の違いを表現できることを確認できた。また、ビデオ観測によらずとも 10 分間の交通量、方向率、混入率からサービスレベルの生起する確率を示すことで簡便な評価も可能となることが示せた。これによって自転車歩行者混合交通において、サービスレベルを利用し、既存の自転車利用空間の評価や整備、改良、新路線設置のための基準とする可能性を示せたといえる。今後の課題としては、より多くの路線について提案したサービスレベルの生起状況を把握して利用しやすいレベルの区分 (A~E ランクのしまい値) を再検討する必要があると考えている。また幅員の考慮、特に自転車・歩行者の通行位置と幅員の関係を考慮するとともに、ミクロな錯綜状況の発生確率を用いた評価が必要と考えている。

なお、本稿は徳島大学・東京都立大学及び建設省土木研究所による「混合交通下における自転車及び自動車・歩行者の適正空間配分に関する共同研究」(平成 10 年度~11 年度) の成果の一部をとりまとめたものである。

参考文献

1) 田宮、山中、山川、濱田 (1999): 自転車歩行者通行空間としての自歩道等のサービス水準に関する分析、土木計画学研究・講演集、No22 (2)、p287-290
2) 塚口、黒田、矢島、田中 (1989): 歩車のオキュパンシー指標を用いた住区内街路の評価

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

山中英生, 田宮佳代子, 山川 仁, 半田佳孝

本研究は、歩行者と自転車の混在交通のための評価指標の開発を目的としている。自歩道のビデオ調査をもとに、自転車の走行速度に着目して、自転車・歩行者の存在密度、自転車混入率、進行方向が与える影響を分析し、自転車の快適性の視点からみた評価レベルを設定するための 85 パーセンタイル速度推定式を提案した。この評価レベルは回避挙動、通行者意識と関連しており、混合交通環境を評価するための基準としての利用可能なことを明らかにした。

Evaluation index for mixed traffic of pedestrians and cyclists considering the bicycles speed

Hideo Yamanaka, Kayoko Tamiya, Hitoshi Yamakawa, Yoshitaka Handa

The aim of this study is to propose an evaluation index for mixed traffic of pedestrians and cyclists. The author propose the estimation method of 85 percentile bicycle speed using traffic density, ratio of traffic direction, ratio of bicycles and the service level using this estimated speed. The proposed service level has good relationship with users safety sense, risk perception, and avoidance behaviours.