

2. 歩行者・自転車混合通行のサービス水準評価法

A Method of Service Level Evaluation for a Pedestrian and Bicycle Traffic in a Sidewalk

技術部 笹岡 弘治、佐々木俊平

1. 研究の目的

自転車は、原則として車道の左端を通行しなければならないが、歩道通行可規制のある場合には歩道を通行することができる。この規制は自動車に対して弱者である自転車の保護のために、自動車から分離して自転車を歩道に載せた緊急避難的な意味合いのものであると解釈できる。そのことは、この規制が布かれていても、必ずしも自転車の通行区分が明示されているとは限らないことから、当面の措置であることを窺い知ることができる。一方このような状況は、規制のない歩道においても自転車通行を誘発する結果となり、都市内の歩道では規制の有無に拘わらず自転車の大半は歩道を通行しているといっても過言でない。

このように、歩行者と自転車が混在した状態で通行している混合通行では、次のような危険な挙動や場面が生じている。

- 1) 速度の異なる自転車と歩行者のすれ違い。
- 2) 歩行者の背後から自転車の突然の追い抜き。
- 3) 歩行者の背後から、自転車のベルやブレーキ音による歩行者の強制的な待避の催促。
- 4) 歩行者間の隙間を強引に縫って蛇行する自転車の危険な走行。

つまり、混合通行のもとでは歩行者、自転車ともに不快で危険な状態に遭遇する要因を多く抱えているといえるが、これを解決するための交通運用や歩道の改良等の施設整備を行うためには次の点を明らかにする必要がある。

- 1) どの程度の歩道幅員や歩行者、自転車交通量の

状態ならば、混合交通の状態でも安全、円滑な交通が保たれるのか。

2) どの程度の歩道幅員や歩行者、自転車交通量の状態ならば、既存歩道に自転車道、自転車歩行車道を設置した場合に残存幅員で歩行者交通を安全、円滑にさばけるのか。

上記2)のうち、自転車歩行車道の設置は歩行者と自転車の通行空間が同一平面にあるため、残存幅員が不足すれば自転車通行帯に歩行者が進出する可能性が高くなり、混合通行の解消にはならない。

しかしながら、これらを定量的に評価する方法は現在見当たらない。このことから本研究は、混合通行の安全、円滑性の評価や、歩行者と自転車を分離すべきことを判断できる評価方法を作成することを目的として、歩道幅員と歩行者、自転車交通量を評価要因とした評価図表を提案するものである。

2. これまでの研究の経緯

歩行者を対象としたサービス水準評価は、HCM 2000¹⁾では歩行者密度と歩行者交通量を評価要因として、それらが少ない状態のときにすれ違いや追い抜きが自由でサービス水準は高いとしている。しかしながら、わが国に多い狭幅員歩道では一人でも歩行者がいればすれ違いや追い抜きが不自由となり、交通流の要素の多寡のみの評価ではサービス水準を的確に表現できないこととなる。この点に着目して、まず次に示す考え方で、歩行のゆとりや安全を表現できる定量的な指標値の模索を行った。

- 1) 歩行者交通量だけでなく歩道の幅員を含めて考

えた指標値であること。

2) 歩行者どうしのすれ違いやすさや、追い抜きのしやすさを表現できる指標値であること。

これらの考え方を定量的な指標値とすべく、コンピュータシミュレーションにより幅員と歩行者交通量を評価要因として、まず歩行者交通に対してはすれ違い・追い抜き可能確率²⁾を提案した。

一方、歩行者、自転車の混合通行に対しても、自転車と与えられた歩行者交通量のもとで通行できるかどうかなどを表現できる指標値として、自転車通行可能確率³⁾という指標値を提示した。これらの指標値は、与えられた幅員と歩行者交通量の中で歩行者間や歩道端に生じる隙間を利用して、歩行者どうしがすれ違いや追い抜きができるか、また自転車が通行可能であるかの程度を確率表示したものである。

次にシミュレーションで求めた確率値と実際の歩行者が感じる意識を比較検討するため、被験者による歩行実験とアンケート調査⁴⁾を行った。その結果から歩行空間については、図一1に示す歩道のサービス水準評価法を提案している⁵⁾。

歩行者と自転車の混合通行に対しては、自転車通行可能確率という指標値を提案したが、これは歩行者の位置関係に着目した場合のある自転車が通行できるかどうかを判断するものであり、その後の検討により次のように課題を整理している。

1) 歩道内での歩行者の分布状態のなかで、その隙間を自転車が通れるか否かの判断のみである。

2) 広幅員で歩行者交通量の多い場合、歩行者間

の隙間を縫って大きな蛇行をするような走行が想定されるが、通行可能確率の計算上それを許容していること。

3) 現実の場では、このまま進めば衝突するという危険感知とそれを回避する行動が考慮されていないこと。

4) 自転車の混入率が評価要素の一因として考慮されていないこと

以下、これらの課題を取り込んだ混合通行の安全性などを評価できる方法について述べることとする。

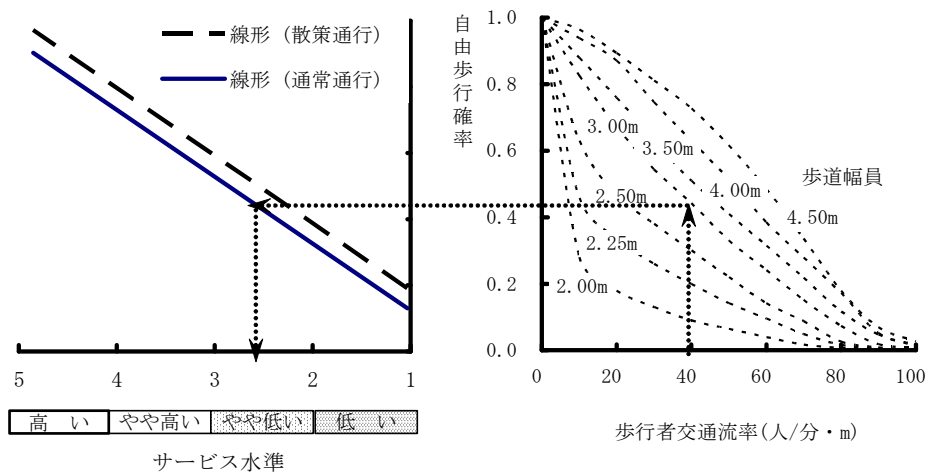
3. 危険感知と危険回避の指標化

歩行者、自転車の混合通行では歩行者どうしのすれ違い・追い抜きよりも、自転車と歩行者、自転車どうしの方が危険な場面が生じることは想像に難しくなく、つぎのような行動判断がなされる。

1) 歩行者と自転車、あるいは自転車どうしがある距離を挟んで向かい合った場合、このまま進めば接触や衝突する危険を感知すれば、互いに避けるか、どちらか一方が避ける。

2) 自転車が、先方で同方向に進む歩行者、自転車を追い抜こうとした場合、追い抜く側が接触や衝突をしないよう避ける。

山中ら⁶⁾は「自ら近接してくる相手を認識し、衝突や接触の可能性を予測して、その恐れがあると感じたときに感じる」ことをリスク感知としている。ここでも同様な考え方で接触や衝突の危険を



図一1 幅員と歩行者交通流率によるサービス水準評価図

感知することを危険感知、回避する行動を危険回避と定義する。そして、上記 2) の場合は追い抜く側の自転車为主体であるが、1) の判断行動も歩行者だけが避け、自転車は避けないという行動は少ないと考えられるため、危険感知、危険回避の定量化には自転車側からみた状況判断や行動判断を軸として考えることとしている。

このような定義にもとづき図-2 に示すような考え方で、ある歩道幅員(m)、歩行者交通流率(人/分・m)、自転車混入率(%)のもとで、おのこの危険感知確率、危険回避確率として定量化している。

1) 危険感知確率

危険を感知するか否かを表した指標値で、ある歩道位置にいる自転車が、ある走行速度で一定の通行幅を通行しようとしたときに、その通行幅のなかに歩行者、自転車が存在しているか否かを、確率で示したものである。図-2 では①の方向に歩行者がいるので、危険感知の状態を表している。

2) 危険回避確率

感知した危険を回避できるか否かを表す指標値で、通行幅の左右に回避できる空間が存在するか否かを確率で示したものである。図-2 では②の左側回避空間の植樹帯側に通行可能幅があるので回避可能であることを示している。③の右側回避空間には通行可能幅がないので回避不能であることを示している。なお、図-2 の④歩行者間の隙間を強引に縫って蛇行する危険な走行は回避行動の対象外としている。

4 コンピュータシミュレーションとアンケート調査

図-3 は評価図表を作成するためのフローである。まず評価要因の組合せごとに、コンピュータシミュレーション(以下、シミュレーションという)により危険感知確率と危険回避確率を求める。

次にその組合せの状態での歩行実験やその DVD 画像を対象にアンケート調査を行い、そのときの質問に対して 5 点評価による評価値を求め、最終的に確率値と評価値を比較分析して評価図表を提示するものである。

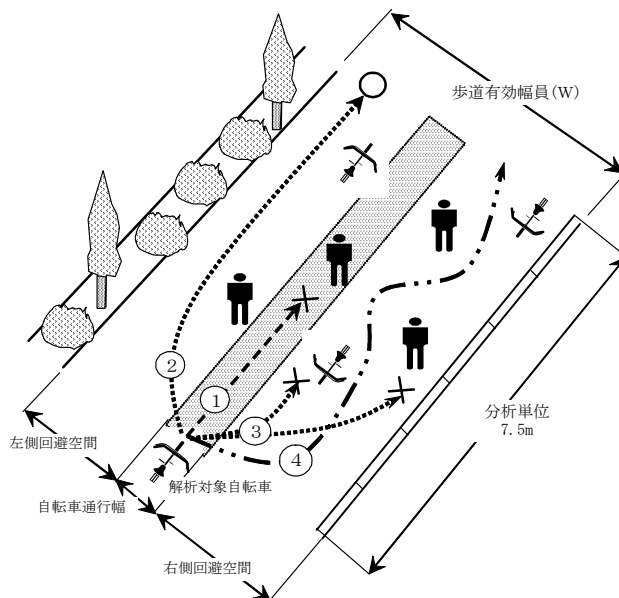


図-2 危険感知と危険回避の概念図

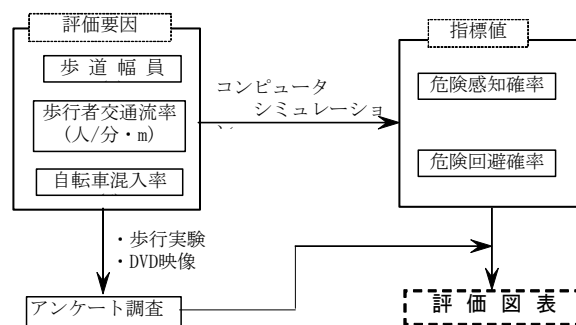


図-3 評価図作成のフロー

(1) シミュレーションの方法

シミュレーションの考え方と手順は以下のとおりである。なお、評価要因と細部の項目は表-1 に示すとおりである。

1 回の試行は次の手順で行う。

1) 一人の歩行者が 7.5m 進む時間に交通量に応じて他の歩行者、自転車を発生させ、それぞれ幅員方向にランダムに配置する。

2) 分析単位の始点に主体となる自転車を幅員方向にランダムに配置する。

3) そこで主体の自転車が危険を感知した場合は、 $D_1 = 1$ とし、感知しない場合は $D_1 = 0$ とする。

4) $D_1 = 1$ の場合、その危険を回避できれば $D_2 = 1$ とし、回避できなければ $D_2 = 0$ とする。

これを N 回試行し、危険感知確率、危険回避確率

表一1 シミュレーションの評価要因と内訳

歩道幅員	単位, 項目	ケースの内訳						
		4.50	4.00	3.50	3.00	2.50	2.25	2.00
歩行者交通流率	人/分・m	5	10	20	30	40		
歩行速度(平均速度)	m/分	90.0	90.0	85.0	80.0	75.0		
歩行速度(標準偏差)	m/分	14.0	14.0	13.0	13.0	13.0		
自転車混入率	%	0	5.0	10.0	20.0	30.0		
走行速度(平均値)	km/時	13.0 ⁷⁾						
走行速度(標準偏差)	km/時	3.0 ⁷⁾						

は以下のように求める。

$$\text{危険感知確率} = \Sigma D_1 / N \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{危険回避確率} = \Sigma D_2 / N \dots\dots\dots (2)$$

本研究では $N = 10,000$ 回としている。

ここで分析単位は、自転車の停止距離を考慮した自由走行に必要な区間長は 7.5m であるという塚口ら⁸⁾の研究と、主体となる自転車の速度が 10~20km/時の範囲では、歩行者は 2~4m、自転車は 4~9m に存在する主体の自転車に危険を感知する、という山中ら⁹⁾の研究を参考にしている。これらの研究結果から、この距離の中で主体の自転車が回避できれば、自転車はベルを鳴らしたりしないで歩行者ともども安全に通行ができると判断した。自転車の占有幅は本体と蛇行幅を含めて 1.0m³⁾、歩行者は 0.75m としている。

また、回避可能の判断は図一2の②のように、7.5m の延長で連続的に自転車の通行幅 1.0m が確保されているときに回避可能としている。

(2) アンケート調査による評価

アンケート調査は、シミュレーションで求めた確率と実際の歩行者、自転車が感じる危険の意識を比較検討するために行っている。

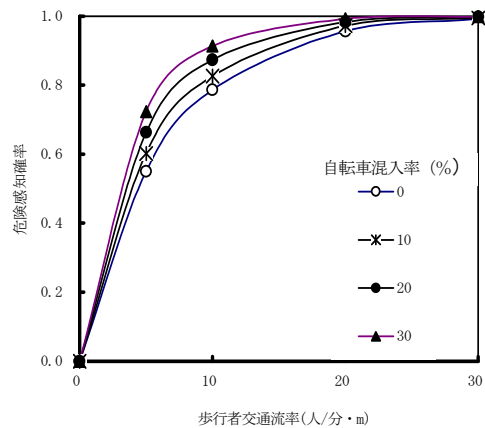
評価要因の組合せごとに、歩行者だけによる歩行実験の DVD 画面⁶⁾を見ながら、被験者は以下の2問の質問に5段階評価で答えている。

1) 画面の状況の中に自転車で乗り入れることを考えた場合、回避が不可能なためベルを鳴らすか否かの判断に関する質問。

2) 画面の状況の中に自転車が乗り入れてきたことを考えた場合、衝突や接触の危険の感じ方の程度に関する質問。

5 評価図表の提案

図一4は、歩行者交通流率と自転車混入率の組合せごとの危険感知確率を示したものである。歩道幅員は、危険感知確率の値には殆ど影響がみられなかった。したがって図一3の危険感知確率は幅員ごとに得られたものの平均値である。なお危険感知確率の平均値と標準偏差を表一2に示している。



図一4 危険感知確率

表一2 危険感知確率の平均値、標準偏差

歩行者交通流率 人/分・m	自転車混入率 (%)				
	0	5	10	20	30
5.0	0.550	0.572	0.602	0.663	0.723
	0.008	0.009	0.007	0.009	0.013
10.0	0.786	0.806	0.826	0.873	0.913
	0.005	0.005	0.009	0.014	0.010
20.0	0.956	0.965	0.972	0.983	0.992
	0.002	0.002	0.002	0.002	0.004
30.0	0.992	0.993	0.995	0.998	0.999
	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

(注) 上段: 平均値 下段: 標準偏差

表一2をみると、歩行者交通流率が大きいほど

危険回避確率のばらつきが小さいことが分かる。

次にシミュレーションによって評価要因ごとの危険回避確率を求めた。

式(3)は、シミュレーションによって求めた回避可能確率の重回帰式である。

$$P = 0.374 + 0.132X_1 - 0.022X_2 - 0.007X_3 \dots\dots\dots (3)$$

(重相関係数 0.9331)

ここで、

P : 危険回避確率

X_1 : 歩道幅員 (m)

X_2 : 歩行者交通流率 (人/分・m)

X_3 : 自転車混入率 (%)

$$= (\text{自転車交通量} / \text{歩} \cdot \text{自合計交通量}) \times 100$$

である。表—3 は重回帰式の分散分析を、表—4 は回帰係数の有意性を示している。

式(3)は、歩道幅員が広いほど、また歩行者交通流率と自転車混入率が低いほど、危険回避確率が大きくなることを示している。

表—3 分散分析表

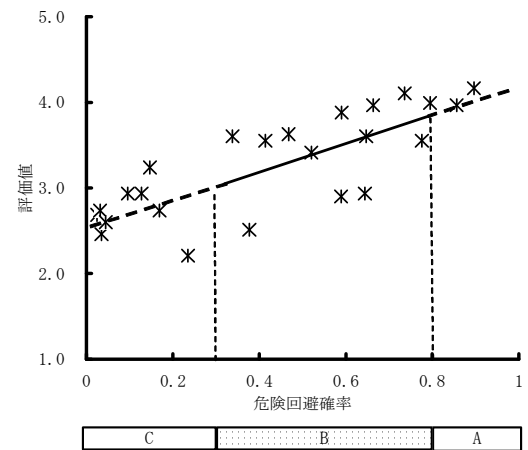
変動因	自由度	平方和	分散	F 値	判定
回帰変動	3	13.480	4.493	482.741	** 1%有意
誤差変動	215	2.001	0.009	—	—
全体変動	218	15.481	—	—	—

図—5 は、危険回避確率とアンケート調査による評価値の関係を示したものである。すでに述べたようにアンケート調査は、与えられた歩道幅員と歩行者交通流率の状況のなかで、自転車の立場からみた場合の回避行動の難易を、また歩行者の立場からみた場合の自転車の回避行動に対する危険感の程度を質問したもので、図—5 の評価値は二つの質問の5点評価法の平均値を示している。この図から分かるように、評価値の範囲は2.1~4.3であるため、回避に関わる評価は次の3段階とした。

- A 水準 : 全く容易に回避でき歩行者への影響も全くない。危険回避確率 0.8 以上
- B 水準 : 容易に回避でき歩行者への影響も少ない。危険回避確率 0.3 以上 0.8 未満
- C 水準 : 回避が困難になり歩行者への影響がある。危険回避確率 0.3 未満。

表—4 回帰係数の有意性

変数名	偏回帰係数	標準誤差	F 値	T 値	判定
歩道幅員	0.132	0.008	254.011	15.938	** 1%有意
歩行者交通流率	-0.022	0.001	1021.223	31.957	** 1%有意
自転車混入率	-0.007	0.001	165.669	12.871	** 1%有意
定数項	0.374	0.031	147.102	12.129	** 1%有意



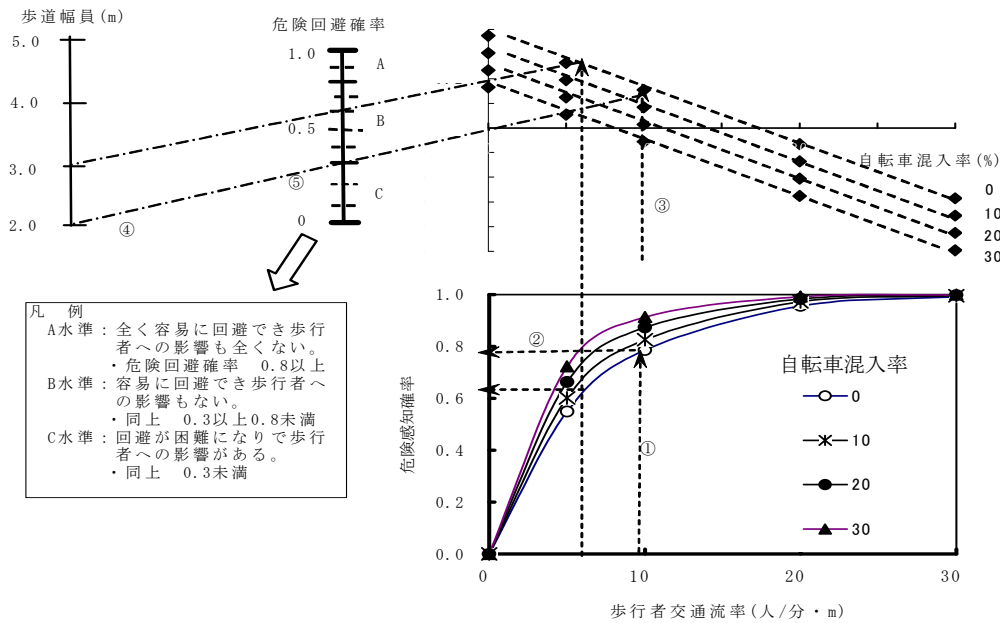
図—5 危険回避確率と評価値の関係

以上の分析の結果、図—5 と式(3)の回帰式から、危険感知と危険回避を判断できる評価図表(ノモグラム)を図—6のように提案する。

図—6 の使用方法は、例えば歩道幅員が 2.0m、歩行者交通流率が 10 人/分・m、自転車混入率が 0% の場合、サービス水準等は次のように図から読み取る。

- ① 歩行者交通流率 10 人/分・m、から縦軸に平行に線を引き、自転車混入率 0% と交わせる。
- ② その点から横軸に平行線を引き、危険感知確率約 0.8 を得る。
- ③ 縦軸に平行な①の線を伸ばし、上図の自転車混入率 0% の線と交わせる。
- ④ その点と左端の幅員 2.0m の線を結ぶ。
- ⑤ 危険回避確率の目盛りとの交点を読むと約 0.3 を得る。

この状態では危険感知、危険回避の面からサービス水準は低いと判断されるため、いま歩道を 1.0m 拡幅して 3.0m にすることとした場合は、歩行者交通流率は 6.7(人/分・m)となるから、図から危険感知確率は約 0.62、危険回避確率は 0.6 と求められ、自転車、歩行者とも通行の安全性、円滑性は大きく改



図—6 歩行者、自転車混合通行のサービス水準評価図表

善されることとなる。

このように、本図表を用いることにより歩行者、と自転車の通行区分が明確でない歩道の混合通行のサービス水準評価が可能となる。

最後に今後の課題としては、本評価法を歩行者、自転車に関する様々な施策に適用し、A、B、C水準の妥当性を検証していくことである。

参 考 文 献

- 1) Transportation Research Board(2000) : Highway Capacity Manual 「HCM2000」、National Research Council Washington, D. c, 2000, PP18. 1—18. 32
- 2) 笹岡弘治(2002) : 幅員を考慮した歩道のサービス水準評価の一手法、交通工学、Vol. 37、No. 3、2002、49-56
- 3) 花原朋廣、笹岡弘治(2002) : 自転車通行可の歩道のサービス水準評価の一手法、平 14. 都土木技研年報、35-40
- 4) 笹岡弘治、田邊優子(2003) : 歩道の幅員・交通量と歩行者意識、平 15. 都土木技研年報、23-28
- 5) 笹岡弘治、山口幹男、田邊優子(2004) : 歩道における歩行者と自転車交通のサービス評価、平 16. 都土木技研年報、39-46
- 6) 山中英生、半田佳孝、宮城裕貴(2003) : 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/IV-59、27-377
- 7) 小池純也、木戸伴雄、高田邦道(2000) : 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、p. 149-152
- 8) 塚口博司ら(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に関する研究、土木計画学研究・論文集、No. 7、p. 219-226
- 9) 山中英生、田宮佳代子、山川仁、濱田俊一(1999) : リスクパーテー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、p. 193-196