

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*

Evaluation method for necessity of separation at pedestrian-bicycle mixture traffic which applies micro simulation*

大脇 鉄也**・諸田 恵二***・上坂 克巳****

By Tetsuya OWAKI**・Keiji MOROTA***・Katsumi UESAKA****

1. はじめに

近年、都市交通モードとしての自転車に注目が集まっている。利用促進の気運が高まるにつれ、自転車歩行者道（略して、自歩道）という我が国特有の自転車と歩行者の混合交通状態を歩行者の安全・安心の視点から問題視し、両者を分離すべきとの声も高まっている。

本報告は、この課題に関する過去の研究事例も活用し、歩行者と自転車の交通量から算出される追い越し・すれ違い頻度と、Social Forceモデルを用いた歩行者自転車交通のシミュレーションソフトで推計される不快な追い越し・すれ違い頻度を組み合わせ、分離必要度を試算する手法について検討を行ったものである。

2. 現状認識と本研究の目指すアウトプット

自歩道は、自転車が自動車との接触を気にせず安心して通行できるが、歩行者が自転車との接触に曝される危険は存在する。特に、昭和45年の道路構造令改正で定義づけられた当初のタイプの幅員が狭い自歩道や、駐輪等により有効幅員が狭くなっている区間、歩行者が多い区間では、自転車が歩行者を回避する余地が少なく、一層危険である。また今後、自転車を都市内の自動車の代替手段として高い速度で利用する環境を提供するためにも、自歩道を見直し、歩行者と自転車の通行空間を分離していくことが必要と考える。

一方、日本の都市内の幹線道路における自転車通行空間は、その大部分が自転車歩行者道で整備されている実態や、地方都市周辺では歩行者も自転車も大変少なく、自動車との分離を優先すべき区間も多いことを踏まえると、自歩道という選択肢を残しつつ、歩行者と自転車を

分離すべき客観的目安を示して、段階的にその適用の縮小を図ることが合理的と考えられる。

次に道路構造令において、歩行者と自転車を分離すべきとする要件は、自動車も含めた三者の交通量の多少で関係づけているが、その具体的基準は「解説と運用¹⁾」にも示されていない。これは、地域の事情に応じて柔軟に適用すべきものとの考えが背景にあるためである。本研究において客観的目安を検討するに際しても、例えば東京23区及び大阪市の歩行者交通量はそれ以外の地域の5～6倍²⁾であるなど、歩行者自転車の交通状況が地域毎に著しく異なることを踏まえると、全国一律の絶対的基準と受け止められる数値を示すのは、やはり回避すべきと考える。

また道路交通法において、自転車は車道を通行するのが原則とされており、平成19年には、この原則を再確認した上で、例外として歩道を通行できる要件を明確化する改正がなされた。この改正で、幼児児童・高齢者は、その運動性能³⁾等を考慮し、いずれの歩道も通行できることとなったことを踏まえると、目安を検討するに際しては、自転車の通行空間を自転車レーン等により車道の上に確保したとしても、幼児児童・高齢者が歩道に残りうることを考慮する必要があると考える。

以上のことから、本研究で求める目安は、自転車通行空間網を面的に整備しようとする一つのエリア内における各道路の歩道について⁴⁾、表-1のような判断する際に、エリア内の相対的な分離必要度を客観的に判断する尺度として機能する評価法を提案することを目標とする。

表-1 歩行者の安全安心の観点から見た分離必要度

分離必要度	自歩道における交通状態のイメージ
③	歩行者が大変多い等、全ての自転車が歩行者空間に混在することが敬遠されるなどの交通状態であり、分離必要度が高い状態。
②	中高生や一般成人が運転する自転車は分離すべきであるが、幼児児童・高齢者の運転する自転車の混在程度は許容されるなどの交通状態であり、分離必要度は①と③の中間の状態。
①	歩行者も自転車も極めて少なく、歩道（自転車歩行者道）幅員も十分にあり、かつ歩行者優先のマナーが保たれる状態にあるので、分離しなくても特に支障がないと考えられる状態。

*キーワード：歩行者・自転車交通計画、サービス水準、歩道、交通弱者対策、交通シミュレーション

** 正員、国土技術政策総合研究所 道路研究室 主任研究官
(茨城県つくば市旭1番地、TEL029-864-4464、<mailto:oowaki-t24r@nilim.go.jp>)

*** 正員、工修、国土交通省総合政策局国際建設推進室
(前・国土技術政策総合研究所 道路研究室 研究官)

****正員、工博、国土技術政策総合研究所 道路研究室 室長

3. 評価指標の考え方

(1) 基本的な考え方

歩行者と自転車の共存性に関する研究は、これまでも多くの研究事例が報告されており、多くが道路空間における歩行者・自転車の密度(人/m²)が通行の不快感に影響する等の知見を得ている。歩行者・自転車の移動速度をそれぞれ一定と仮定するならば、密度は歩道幅当たり交通量に置き換えることができる。本研究では、これらの知見を参考に、歩行者・自転車の交通量と道路幅員に対する不快感の変化について評価することとした。

歩行者と自転車の接触回避行動等の結果は、歩行者同士、自転車同士の通行を妨げることもあるので、これらも含め評価することとした。また歩行者・自転車利用者の実感を考慮し、一人あたりの不快感で評価することとした。ただし、一方の立場でそれぞれ評価するのではなく、歩行者・自転車双方の視点による評価を総合することとした。

(2) 不快な追い越し・すれ違いについて

不快感は、歩行者・自転車が空間内に存在しているだけでは発生せず、歩行者と自転車(歩行者相互、自転車相互を含む)が追い越し・すれ違いする際に発生すると考えられる。但し、全ての追越等が不快とはならず、十分な離隔をもって追越等する場合には不快感は生じないものと考えられる。追越等時に不快と感じる距離については、山中らの研究⁵⁾等から図-1の結果⁶⁾を得ており、これを参考にすることとした。

4. 指標の算出

(1) 解析的な追越等の回数の算出

ここに歩行者交通量を Q_p 人/h、自転車交通量を Q_b 人/h、歩行者の速度を V_p km/h(固定)、自転車の速度を

V_b km/h(固定)とし、歩行者・自転車の重方向率をともに50%と仮定した場合、単位距離・時間当たりの総追越等回数 N_{ALL} は次式で算出される。

$$\begin{aligned}
 N_{ALL} &= N_{pd} + N_{bp} + N_{pq} + N_{bd} \quad \dots \textcircled{1} \\
 N_{pd} &= 1/2 * (1/V_p + 1/V_b) * Q_p * Q_b && (\text{: 歩行者と自転車のすれ違い}) \\
 N_{bp} &= 1/2 * (1/V_p - 1/V_b) * Q_p * Q_b && (\text{: 自転車の歩行者の追い越し}) \\
 N_{pq} &= 1/2 * 1/V_p * Q_p^2 && (\text{: 歩行者同士のすれ違い}) \\
 N_{bd} &= 1/2 * 1/V_b * Q_b^2 && (\text{: 自転車同士のすれ違い})
 \end{aligned}$$

なお、この方法では、速度はそれぞれ固定してしまうので、歩行者相互、自転車相互の追い越しは発生しない。算出結果を図-2に示す。原点(右下)に向かってやや凸の分布となることが分かる。

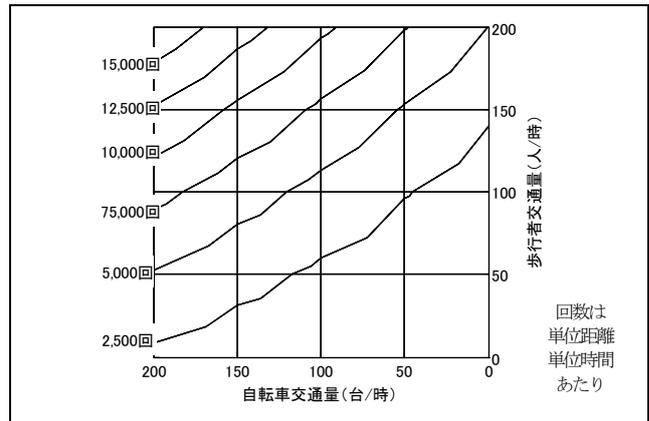


図-2 歩行者自転車交通量に対する追越等発生回数 N_{ALL}

歩行者又は自転車1人(台)あたりの追越等回数 N_0 は、

$$N_0 = N_{ALL} / (Q_p + Q_b) \quad \dots \textcircled{2}$$

と算出することができる。

このN回の追越等のうち、不快な追越等となる比率を幅員中の通行位置の選択確率を与えて解析的に解く方法も考えられるが、今回はより実態の行動に近い状況を再現する方法として、PTV社(独)のVISSIMを用い、Social Force モデルによるマイクロシミュレーションを行った。

(2) ミクロシミュレーションによる不快な追越等回数の算出

VISSIMのSFモデルは、Helbingら⁷⁾によって開発された基本形をほぼそのまま用いている。従って、本来自転車は考慮されておらず、次のような制約がある。

- システム内部では自転車を「速い歩行者」として取り扱っており、自転車独自の特性については、十分に検証されていない。
- 「速い」の上限が10km/hまでしか設定できない。(日本の自転車の実勢速度は15km/h³⁾前後)
- 予測行動をしないため、密度が高いと不自然な軌跡を描くことがある。
- 交通ルールを設定できず、その場のステータスで右にも左にも回避する。

シミュレーションの歩行者パラメーターは、VISSIMの

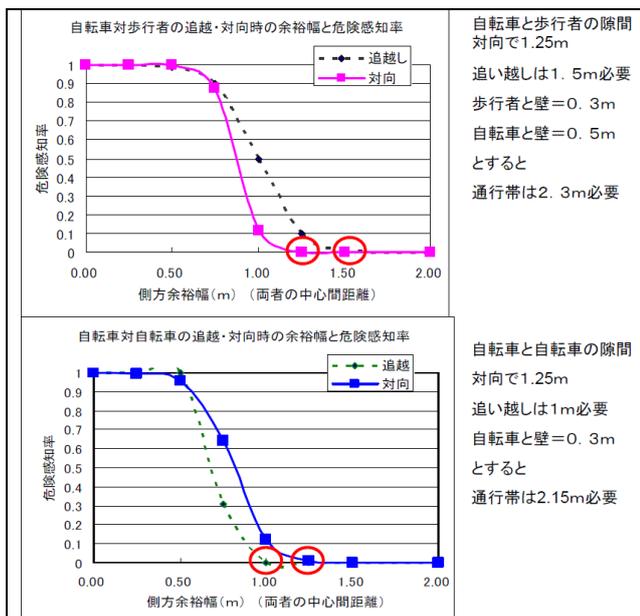


図-1 追い越し・すれ違い時の離隔と危険認知率の例^{5) 6)}

表-2 シミュレーション条件

通行空間	延長	1.2km、うち中間の1kmが計測対象 (発着地付近は挙動が安定しないため)	
	幅員	3.0m、4.0m、5.0mの3パターン	
計測時間	1時間を3セット行い、平均する。		
交通量	歩行者、自転車をそれぞれ5パターン [0、50、100、150、200(人(台)/時)] 計24パターン(0人0台を除く)		
速度	歩行者：平均4.0km/h(2.6~5.4km/h) 自転車：平均10.0km/h(9.0~11.0km/h)		
重方向率	各ケースとも歩行者、自転車ともに50%		
危険認知距離		追い越し	すれ違い
	歩行者×自転車*		
	-歩行者視点	1.50m	1.25m
	-自転車視点	1.00m	1.25m
	自転車×自転車*	1.00m	1.25m
	歩行者×歩行者**	1.00m	1.00m
* 文献6による。 ** 歩行者の必要幅を1.0mとする道路構造令の考え方に準拠し設定。			

標準設定⁹⁾をそのまま用いた。自転車パラメーターは標準が提供されていないため、アニメーション機能での動きを見ながら、急制動や急回避、後ずさり等の行動が発生せず自転車が自然な動きを見せるように独自にパラメーターの調整を行った。

シミュレーション条件は、表-2に示すとおりである。

不快感については、シミュレーター内で追越等があった時の最接近距離が表-2に示す危険認知距離以下となった場合を「不快な追越等」と定義し、回数をカウントしてその総数 D'_{ALL} を算出した後、一人あたりに割り戻すことにより行うこととした。なお、追越等は必ず相手がいるので、1回の不快な追越等は、2人の不快感としてカウントすることとなる。

(3) シミュレーション結果

図-3は、シミュレーション結果から得た各ケースの不快な追越等回数 D'_{ALL} と式①で得た追越等回数の解析値 N_{ALL} との関係を示したものである。図から明らかとなり D'_{ALL} は N_{ALL} に比例しており、追越等が発生すると、その一定割合が不快な追越等となると考えられる。

また不快な追越等となる比率は幅員が狭いほど高く、特に3mと4mの違いは、4mと5mの違いより大きい。

図-4は、不快な追越等の回数を、発生時の状況別に分類したものである。式①による解析値と比較すると、自転車が歩行者を追い越す時の不快割合が高く、かつ、幅員が広がってもあまり低下していないことが分かる。これは、歩行者が自転車に追い越される時の危険認知距離が1.50mと大きいこと、SFモデルは後方からの接近に対する回避行動が弱いことが影響していると考えられるが、これに近い実態が起きているとも思われる。

また、歩行者相互の不快感割合も特に3mケースで多く、

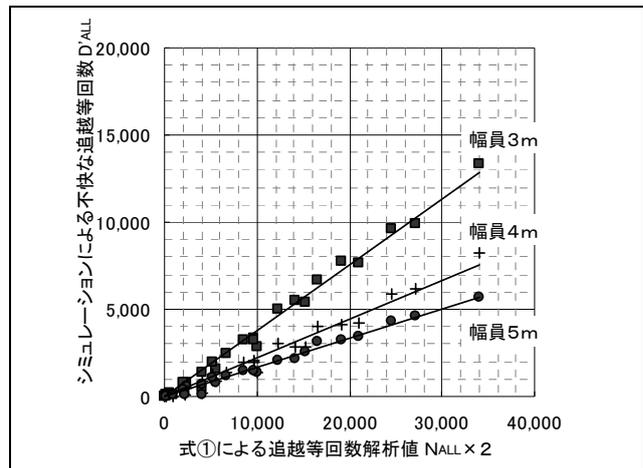


図-3 不快な追越等回数のシミュレーション値と追越等回数の解析値との関係

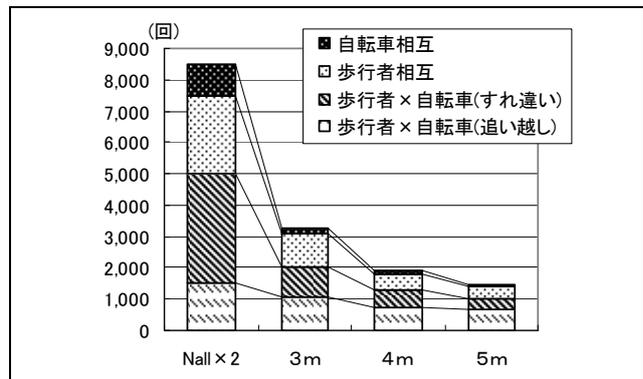


図-4 発生状況別の不快な追越等の回数
(歩行者100人/時、自転車100台/時のケースの例)

自転車と歩行者の干渉が、歩行者相互の円滑な通行の妨げになっている可能性を示唆している。

5. 指標を用いた評価

このシミュレーション結果を用いて、歩行者・自転車一人あたりの不快な追越等回数を算出し、分離必要度を示す指標とすることを検討する。

(1) トリップ長の考慮

シミュレーションは、単位時間単位距離あたりの総回数をカウントした。式②は、これを単に発生歩行者自転車交通量で除したもののだが、分離必要度を考えるにあたっては、より実感に近づけるために、歩行者・自転車の平均的な1トリップあたりの不快な追越等回数を検討することとする。

1998年の東京都市圏PT調査によれば、平均トリップ長は、歩行者は約0.8km、自転車は約2.1kmである。シミュレーション内で発生させた人キロをこの値で除して平均トリップ数とすれば、平均的な1トリップあたりの不快な追越等回数 N は、 D'_{ALL} との次の関係式

$$N = D'_{ALL} / (Qp/0.8 + Qb/2.1) \quad \dots \textcircled{3}$$

で表現することができる。この N を本研究でOUTPUTとした「分離必要度」と考えることとする。

(2) シミュレーション結果の定式化

シミュレーションでは、24の交通量パターンを設定したが、任意の交通量でNを求められるよう D'_{ALL} の定式化を考える。4. (3)で述べたとおり D'_{ALL} は N_{ALL} に比例している。 N_{ALL} は交通量と①の関係にあることから、 D'_{ALL} も交通量との関係を次式で表現できる。

$$D'_{ALL} = \alpha Qb * Qp + \beta Qb^2 + \gamma Qp^2 \quad \dots ④$$

α, β, γ は係数であり、シミュレーション結果に回帰すると、幅員別に表-3の値となった。

表-3 式④に関する幅員別回帰パラメーター

幅員	α	β	γ
3m	0.21248	0.01858	0.08842
4m	0.13913	0.00963	0.04212
5m	0.10384	0.00638	0.03495

式④と表-3 から幅員別に交通量と分離必要度の関係をグラフ化すると図-5のようになる。このグラフを用い、例えばN=10に着目すると、幅3m、自転車100台/h、歩行者30人/hの歩道と幅3m、自転車50台/h、歩行者60人/hの歩道、幅5m、自転車100台/h、歩行者140人/hの歩道は、いずれも同等の分離必要度にあると考えることができる。

(3) 分離必要度を用いた評価

分離必要度を用いた評価の一例として、分離必要度別の区間延長を、H17道路交通センサスに基づき集計した例を図-6に示す。図は全延長を100%とした場合の横軸の値以上の分離必要度となる延長比を示したものである。その他の地域では分離必要度が10を超える区間は10%程度しかないのに対し、東京・大阪では75%を超え、交通

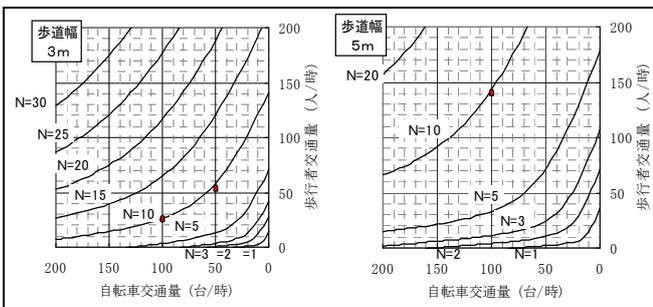


図-5 歩道幅員、歩行者自転車交通量と分離必要度

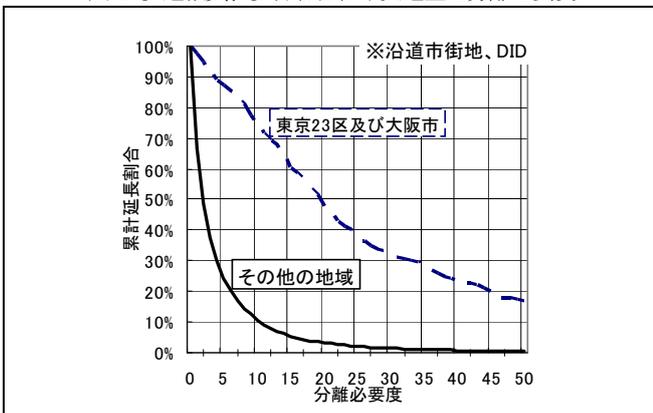


図-6 分離必要度別延長累計の比較

状況に著しい違いがあるのが分かる。こうした延長分布を踏まえ、事業量も考慮して、分離を優先する水準を検討する材料とすることができる。

6. まとめと今後の課題

本研究では、過去の研究事例等とマイクロシミュレーションに基づき、追越等発生時の不快感をベースとした分離必要度の検討を行った。結果、不快感を感じる回数は、解析的に求められる追越等発生回数に比例すること等が分かり、個々の道路の交通量と幅員から分離必要度を算定する式を得ることができた。

またこの方法は、解析的数量を上限とし、そのうち不快を感じる割合求める方法であるので、指標が発散することはないと考えられるが、今後実感との整合性を検証していくことが望まれる。またSFモデルについても、現況再現性について検証等を行う必要がある。

7. おわりに

本研究の実施に際しては、徳島大学山中教授を座長に「自転車対応型道路設計基準検討ワーキング」を構成し、委員の皆様からの助言をいただきながら検討を進めた。またパシフィックコンサルタンツ株式会社総合計画部の皆様には、マイクロシミュレーションについてのレクチャーをはじめノウハウの提供をいただいた。多くの方々の協力で紙面を借りて感謝申し上げます。

参考文献など

- 1) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用, 2004
- 2) 道路交通センサスの歩行者交通量(DID)の単純平均は、東京大阪が3,731人/12H、その他地域が718人/12H(5.2倍)
- 3) 例えば、諸田・大脇・奥谷：自転車と歩行者の混在状態下における通行快適性に関する調査、土木計画学研究論文集, No. 37, 2008.
- 4) 車道については、諸田・大脇・上坂：自転車道及び自転車レーンの適用範囲に関する一考察、土木計画学研究論文集, No. 39, 2009. を参照
- 5) 山中・田宮・山川・濱田：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、交通工学研究発表会論文報告集, No. 19, pp193-196, 1999
- 6) 山中英夫：第82回交通工学講習会(大阪)資料より
- 7) Dirk Helbing and Peter Molnar：Social force model for pedestrian dynamics, 1995
- 8) Tobias Kretz, Stefan Hengst, Peter Vortisch：Pedestrian Flow at Bottlenecks - Validation and Calibration of Vissim's Social Force Model of Pedestrian Traffic and its Empirical Foundations, 2008