

歩行者・自転車双方の立場から見た歩道空間における 危険感知領域に関する基礎的研究

A Fundamental Study on the Danger Territories for Pedestrians and Cyclists on Sidewalk

足達健夫 **・吉村正浩 ***・萩原亨 ****・内田賢悦 *****・加賀屋誠一 *****

By Takeo ADACHI*, Masahiro YOSHIMURA***, Toru HAGIWARA****,

Ken'etsu UCHIDA*****, Seiichi KAGAYA*****

1. 研究の背景と目的

(1) 背景

自転車交通は環境の面からも有効であり、とくに都心内の移動にも有用な可能性を秘めた交通手段である。しかし自転車と歩行者の衝突事故は増加傾向にあり、事故に至らなくても、歩行者が至近を高速度で通過する自転車に恐怖感を抱くなどの問題が指摘されるようになってきている。自転車は軽便な交通手段ではあるが、衝突時のエネルギーは決して小さくはなく、特に歩道空間という限られたスペースにおいては、もっとも基本的な交通手段である歩行の安全性を確保することは最重要課題である。

道路交通法によれば、自転車は「車道以外を横断する場合…自転車道を通行しなければならない」(第63条の3)とされている。しかし都心部で完全な自転車専用道が整備されている例はきわめてまれである。同法はまた、自転車が歩道を通行できる場合についても定めている。「道路標識等により通行することができるとされている歩道を通行することができる」というのがそれであり、法律的にも実際にも、歩道空間では歩行者・自転車が併存する。

たとえば札幌市では、図-1に示すように比較的幅員に余裕のある歩道で、自転車通行が許可されている。しかし周辺の車道上は交通量が多く、通行可能路線か否かに関わらず、自転車は歩道上を通行しているのが実態である。本研究における歩道空間とは、主としてこのような状況にあるものを指す。

(2) 目的

現在自転車交通は北欧を中心に交通手段として重視され、わが国においても保有台数は増加傾向にあ

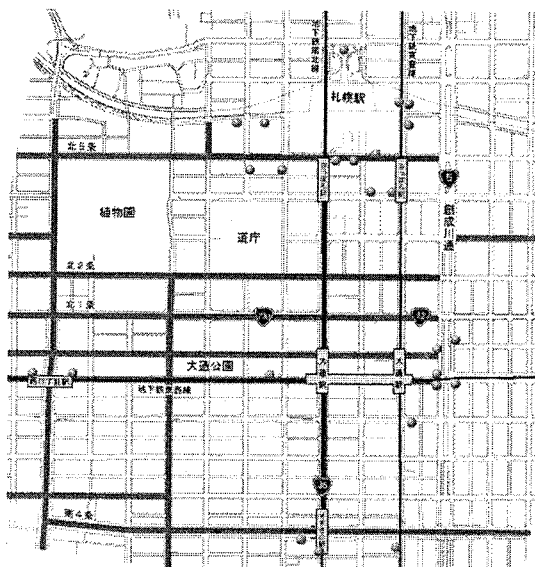


図-1 札幌市における歩道上の自転車通行
可能路線(文献¹⁾より抜粋)

る。しかし、わが国では自転車の専用空間は十分には整備されていない状況にある。このことから、(1)で述べたように、空間確保の難しさからやむなく歩行者・自転車が同じ歩道空間に併存せざるを得なくなる。

そこでは自転車と歩行者の共存が望まれるが、歩行中、自転車の走行に危険を感じるものがしばしばある。ひとつの要因として考えられるのが、自転車と歩行者との間で、接近時の危険の感じ方におけるギャップである。すなわち、危険を感じるという歩行者の声は多いが、そのとき自転車運転者はどう感じているのか、せまい歩道空間で互いが接近したとき、双方は同時に危険を感知していないのか、といった問題である。

そこで本研究では、歩行者・自転車接近時の危険感知に影響を与える要因として、両者の位置関係と相対速度に着目した。それらの要因が変化したときの自転車と歩行者、双方が感じる危険の感じ方とその変化、また両者の相違を明らかにし、それを定量的に表現することを目的にしている。

* キーワーズ: 歩行者交通行動、自転車交通行動

** 正員、博(工)、専修大学北海道短期大学

(美瑛市字美唄1610-1、Tel0126-63-0245、Fax0126-63-3097)

*** 学生員、玉川大学

**** 正員、工博、北海道大学大学院

***** 正員、博(工)、北海道大学大学院

***** フェロー、学博、北海道大学大学院

(札幌市北区北13条西8丁目、Tel/Fax011-706-6214)

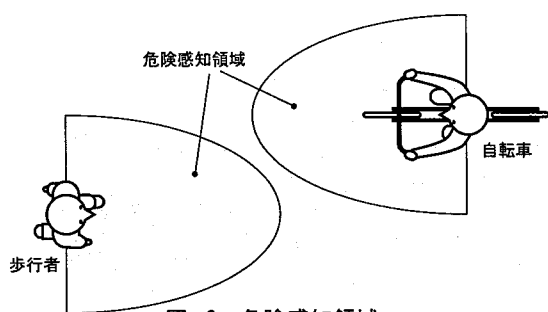


図-2 危険感知領域

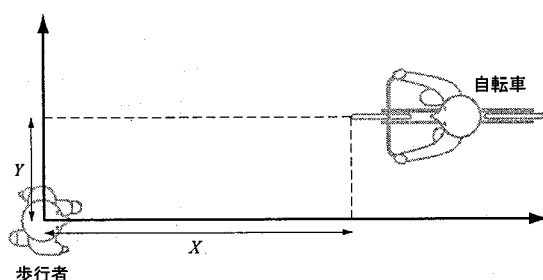


図-3 歩行者・自転車の位置関係と危険感知距離

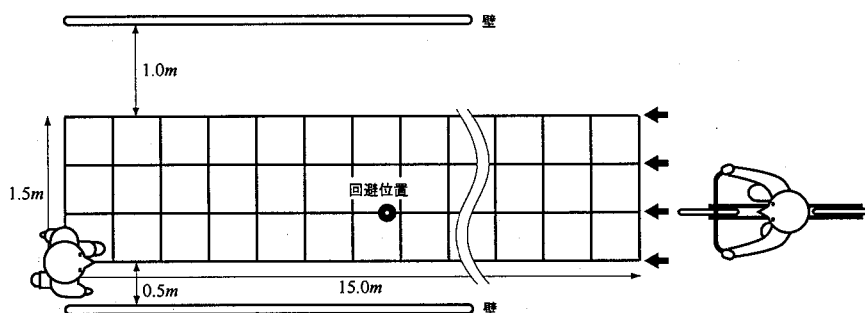


図-4 回避距離測定実験の概要

2. 関連する既存研究

交通主体の空間的占有という考え方に関しては、オキュパンシー指標があげられる。塚口²⁾は駐車車両の影響などを考慮しやすい本指標を用いて街路評価を行っている。分析対象区間の街路特性は、交通主体の空間的占有、とくに他者との錯綜による危険感知を考える際、きわめて重要な要因である。しかし本研究では、これよりもミクロな分析視点に立っている。すなわち、歩行者・自転車のあいだには危険感知のギャップがあると予想されるが、それは両者の占有空間あるいはそれに対する意識の違いから来るのかどうか、そもそも両者の空間占有に違いはあるのか、あるとすればどのような違いか、といった視点である。オキュパンシー指標の適用を応用的な段階とすれば、本研究は歩行者・自転車の1対1の関係のなかで空間占有を考察する、より基礎的な段階といえよう。

その点、山中³⁾は本研究の分析視点に近い。すなわち1人の歩行者と1台の自転車がすれ違う場合において、歩行者のリスク感知が生じるとし、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と相対速度において危険を感知するかという路外実験を行い、ニアミス生起確率モデルを推定している。ここでは対向・追い越し時の「回避幅」がニアミス生起確率に大きく影響するという分析がなされている。しかし、相対速度と対向距離の扱い、また危険感知の考え方について本研究は異なっている。前者に関しては、当該既存研究でのモ

デル構築時に両者の相対速度・対向距離は考慮されているものの、これらが考察段階で明示的に扱われていない。本研究では歩行者・自転車の相対位置に関して、側方距離・対向距離ともに重要と考え、それらを測定するための実験を行い、考察している。どちらも等しく扱って2次的に考えることが、危険を感じる空間の形状をより明らかにでき、さらに相対速度によってそれが容易に変化することが予想されるからである。後者に関しては、歩行者・自転車のどちらかが危険を感知した時点で、両者にとってニアミスが生じたという考え方を当該既存研究はとっているが、これでは危険感知における両者のギャップを明らかにできない。両者にそれぞれ危険を感知させたうえで比較することで、初めてそれが明らかになる。本研究での実験の設計は、この考え方に基づいている。

実験手法の点で、清田⁴⁾は本研究の位置づけを明確にできる研究のひとつである。これも歩行者・自転車の相互作用を論じており、実験の目的としては本研究のそれに近い。ここでは歩行者・自転車の1対1のすれ違いは現実にはまれであり、錯綜形態を適切に説明できないとの問題意識から、ビデオ録画を被験者に評価させるという間接的な手法を用いている。しかしここで批判されている、1対1のすれ違いを実験的に再現する手法を、本研究では用いた。本研究では歩行者・自転車の互いに対する危険感知が対象であり、被験者には実際に危険を感知してもらう必要がある。また、交通主体の危険感知の程度はどのように空間的に表現できるかという問題、ま

表-1 実験の要因・水準

要因	水準			
走行位置	0m	0.5m	1.0m	1.5m
自転車速度	10km/h	17km/h	24km/h	
壁	なし	あり		
回避者	歩行者	自転車		

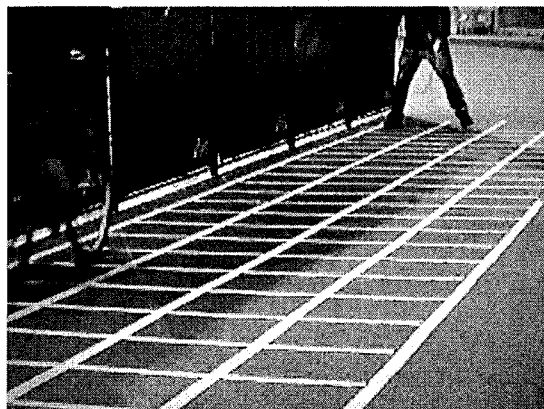


図-5 実験風景

たそうした共通の空間的尺度でもって歩行者と自転車の危険感知をひとしく測定しようという目的があるため、可能なかぎり条件をコントロールした実験的なアプローチによることにした。

3. 危険感知距離の計測

(1) 実験の目的

歩行者と自転車が互いに危険と感じる要因は両者の相対速度と相対位置によるものが大きいという前述の考えに基づき、これらを変化させたときの両者の回避行動を観測する。具体的には、歩行者もしくは自転車が回避行動を起こしたときの、自転車の位置を計測する。

(2) 危険感知領域

自転車と歩行者が相対し、そこに接近してきた相手が侵入したとき、相手の接近を危険と感じる領域が、歩行者にも自転車にもあると仮定する(図-2)。これを危険感知領域と呼ぶことにする。

実際の歩道空間においては、たとえば、自転車の持っている危険感知領域に歩行者が入ったとき、歩行者のそれに自転車が入っていなければ自転車が先に回避行動をとり、逆の場合は歩行者が先に回避行動をとることで危険を回避していると考えられる。

ところで、歩行者と自転車の相対位置は、図-3のように歩行者を原点とすると、前方向の距離(対向距離、X)と、横方向の距離(側方距離、Y)で表される。どちらの方向でも、ある一定距離内に相手

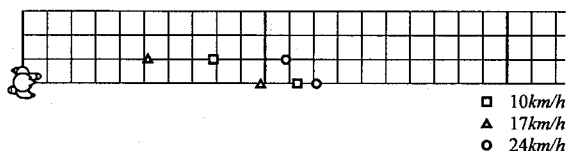


図-6 実験結果例：歩行者回避時

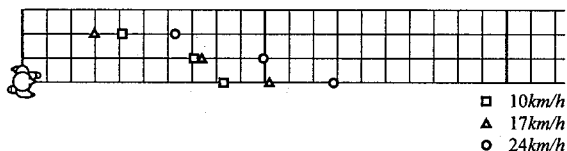


図-7 実験結果例：自転車回避時

が侵入すれば危険は感知されるが、そのX方向とY方向では感知の程度に違いがあることも予想される。両者の危険感知のギャップを知るためには、X、Y両方について感知時の距離を測定して危険感知領域の大きさを知る必要がある。

(3) 実験の概要

実験は2004年12月23日、札幌市東区にあるコミュニティドーム「つどーむ」にて、被験者は成人男性6名で行った。

図-4に示すように、床に延長15mのラインを表示し、その前後にスペースをとり総延長40mの通路を用意した。実験はすべて、静止している歩行者に対して自転車が接近した。これを「歩行者が回避する場合」「自転車が回避する場合」の2通り行なった。どちらが回避する場合でも、被験者には、危険を感知した時点で手に持ったライト点灯ボタン(自転車はハンドルに装着)を押しながら回避してもらった。このときの両者の位置をビデオ撮影により記録した。この際、安全に配慮するため回避方向はあらかじめ決めておき、互いに接触しないようにした。実際の実験風景を図-5に示す。

また、歩行者または自転車が回避するための空間が十分ある場合とない場合も想定した。回避空間がない場合として、通路の両脇に壁を設置した。壁の間隔は3メートルである。これは道路構造令による「特別歩行者が多くはない場合は、自転車歩行者道の幅員を3メートル以上とする」という項目から決定した。

さらに、接近する自転車の速度を3段階に変化させた。速度は、自転車に取り付けた速度計を見ながら、指示した速度10km/h、17km/h、24km/hを出せるよう学習してもらい、それぞれの速度でまっすぐに走行してもらった。

歩行者は、どの場合でも接近してくる自転車に向かって静止させた。これは両者の相対速度と絶対位置をより正確に求めるため、またすこしでも回避し

表-2 条件別平均回避位置 X (m)

回避者	壁	自転車速度 (km/h)	平均回避位置 Y (m)			
			0	0.5	1.0	1.5
歩行者	なし	10	5.3	3.7	-*	-
		17	5.7	3.8	-	-
		24	6.8	5.6	0.7	-
	あり	10	5.0	2.7	-	-
		17	6.9	3.9	-	-
		24	8.5	5.4	2.2	-
自転車	なし	10	3.8	3.2	1.9	-
		17	4.2	3.9	2.2	-
		24	5.5	4.4	4.3	-
	あり	10	4.4	4.1	-	-
		17	5.2	3.2	3.7	-
		24	6.2	5.5	2.8	-

*は回避なしを示す

やすい状態にするためである。以上の要因・水準を表-1に示す。これらの組み合わせを変えて、複数回走行実験を行った。

(4) 実験の結果

実験結果の一例を図-6、7に示す。格子1辺の長さは50cmである。自転車は走行1回ごとに走行位置すなわちYを変えながら、図の右から左に向かって直進した。図-6、7はサンプルのなかから2人の回避者を抜粋したものであり、前者は歩行者が、後者は自転車が回避した場合である。どちらも回避の瞬間の自転車位置を格子上にプロットしてあり、プロットされた記号は速度別に3種類ある。おおむねYが小さく、また速度が大きいほど早く回避していることがわかる。さらに、自転車よりも歩行者のほうが、また壁あり時よりも壁なし時のほうが早く回避した。加えて、Y=1mになると歩行者が回避しないケースが生じ、Y=1.5mではすべての歩行者が回避行動をとらなかった。

全サンプルについて、回避位置の平均値を条件別に整理したものを表-2に示す。正面(Y=0m)付近では、回避時のXは歩行者で5～8mであるのに対し、側方へ離れると(Y=1.0mまたは1.5m)Xは小さくなり、回避行動が生じずに終わることもある。この傾向をふまえ、つぎのようなモデル式の推定を行い、危険感知領域を定量的に求める。

4. 危険感知領域モデルの推定

(1) モデル式

以上の結果から、両者の危険感知領域モデルを求める。危険感知領域は回避時の両者の位置関係、すなわち前方向の距離(X)と、横方向の距離(Y)で決定される。表-2についての考察で述べたように、Yが小さい場合は、Yの違いに対するXの変化は小さく、逆にYが大きくなるにつれXの変化は大きくなると

表-3 パラメータ推定結果

	歩行者		自転車	
	係数	t 値	係数	t 値
X^2	-0.088	-22.000	-0.110	-22.000
Y^2	-7.742	-19.650	-4.144	-19.828
V	0.219	19.909	0.162	18.000
壁ダミー	0.500	3.497	0.508	3.820
R^2		0.878		0.851
ρ^2		0.482		0.422

考えられる。そこで領域の形状を被験者を中心とする楕円と仮定した。また被験者属性や街路条件、速度については線形関数を仮定し、危険感知領域モデルを推定するために以下の式のようなロジットモデルを構築した。

$$P(X,Y,V) = \frac{1}{1 + e^{-\Delta U}} \quad (1)$$

$$\Delta U = aX^2 + bY^2 + cV + d_1Z_1 + \dots + d_nZ_n \quad (2)$$

ここで、a、b、c、dはパラメータ、Zは被験者属性、道路空間の状況等のダミー変数である。(2)式の効用関数は、楕円におけるX、Yの関係を考慮した形になっている。すなわち自転車速度・被験者属性が変わらなければ $aX^2 + bY^2$ が一定になる楕円と同じように、効用の無差別曲線が描かれるようにした。

(2) パラメータ推定

歩行者と自転車では説明変数間の交互作用が大きくなると考えダミー変数とはせず、歩行者の立場、自転車の立場それぞれについてモデル化した。なお今回、被験者属性は考慮せず、速度(V)、壁ダミー変数を説明変数とした。ここで、被説明変数を0または1とするため、危険を感知した地点以遠では危険感知なし、危険を感知した地点より近くではYと速度をその地点のままとして、交差するまで接近を続けた場合0.5m毎に危険感知ありとするサンプルを作成した。このデータを用いて推定したパラメータを表-3に示す。 R^2 値は0.8以上という結果を得た。

(3) 危険感知確率分布の比較

速度10km/hにおける、危険感知確率分布をz軸方向に表したモデルを、歩行者・自転車それぞれについて図-8、9に示す。図は、原点の位置に歩行者がX軸方向を向いて立ち、自転車が接近したときの相対速度が10km/h時、壁なし時における危険感知確率を示している。山の高い位置(Zが大)に自転車が来るほど歩行者が危険を感知する確率は高くなる。また速度20km/hにおける、歩行者・自転車の危険感知確率分布をそれぞれ図-10、11に示す。図-8、9にくらべ、距離が遠くても危険感知確率が高

probability - p10

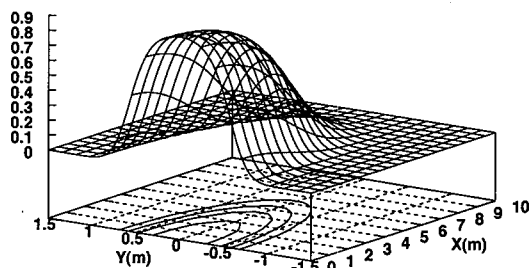


図-8 10km/h、歩行者の危険感知確率分布

probability - p20

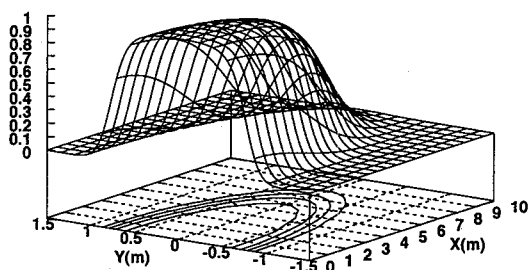


図-10 20km/h、歩行者の危険感知確率分布

い。さらに壁あり時の歩行者の危険感知確率分布を図-12に示す。図-8にくらべ、やや領域が広いことがわかる。

安全側にたとえば85パーセントをとり、ある人が15パーセント以上の確率で危険を感知すると考え、さらに速度 V をたとえば10km/h、20km/hとしたとき、その場合の危険感知領域が図-13のように表される。ここでは、歩行者・自転車のそれを重ねて表示してある。同じ速度でも、自転車と歩行者での危険感知領域は同じではないことがわかる。すなわち X 方向では自転車よりも歩行者のほうが危険感知領域は広く、対向して接近したときには歩行者の方が先に危険を感知するのに対し、互いに側方へ離れているとき(Y が大)は自転車のほうが危険感知領域は広がっている。これは3.(4)で見られた特徴と一致する。正面の対向時(Y が小)においてはより危険な立場にある歩行者の方が早く危険を意識する傾向にあると考えられる。また、互いに側方へ離れた位置では、突然の進路変更など突発的な状況に対しての反応が、自転車より歩行者の方で早く、これが両者の感じる安全な幅の違いにつながっていると考えられる。壁があった場合についてはそれぞれ危険感知領域が広がる。

5. 考察

実験結果から考えられる自転車と歩行者の危険感

probability - c10

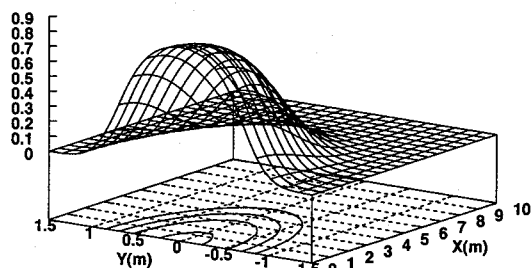


図-9 10km/h、自転車の危険感知確率分布

probability - c20

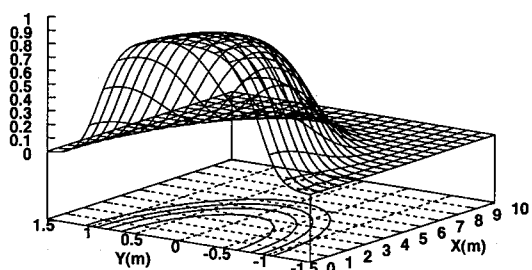


図-11 20km/h、自転車の危険感知確率分布

probability - p10w

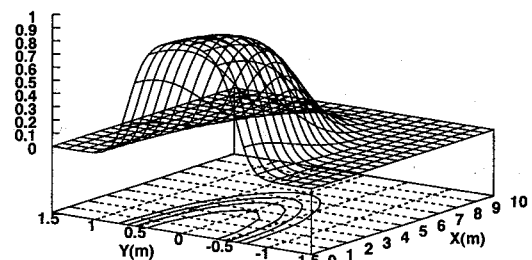


図-12 10km/h、歩行者の危険感知確率分布

(壁あり時)

知における違いは、以下のようにまとめられる。

- a) 正面付近での対向時、自転車よりも歩行者の方が先に危険を感じる傾向にある
- b) 互いに側方へ離れると、歩行者よりも自転車の方がより早く危険を回避する行動をとる傾向にある

側方距離の違いによる危険感知の違いを図-14、15に示す。以上から自転車と歩行者との共存を考察すると、自転車と歩行者の走行空間の分離が、つぎの理由から有効である。まず、分離により両者が正面から対向することがなくなる。側方に関しては自転車の方が慎重であることから、気づかないうちに自転車が歩行者に危険を感じさせることが、これによりなくなる。加えて、自転車にとっても回避は減速ですませることができ、双方の快適性が高まることが期待される。そのためには自転車の走行空間を設置するだけでなく、利用に際し、歩行者の進入

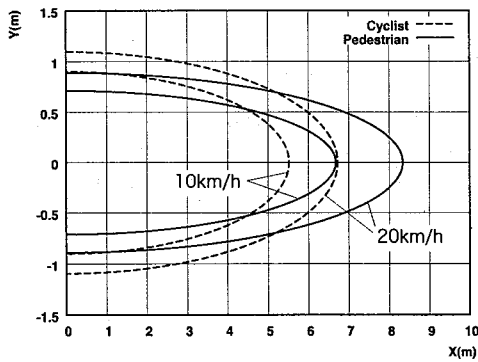


図-13 歩行者・自転車の速度別危険感知領域

を禁止しなければ効果はないと考えられる。完全に分離することで、となりあっても快適な利用が可能になる。

自転車・歩行者双方にとって危険を感知する確率が十分低い歩道空間を実現するためには、危険感知領域を考慮に入れた幅員が必要である。道路構造令による占有幅⁵⁾は、歩行者0.75m、自転車1.0mである。図-13から、 $X=0$ でこの占有幅でも危険と感じないと考えられる相対速度は、歩行者・自転車とも、およそ10～15km/h以下である。それ以上の相対速度になった場合に、危険感知確率を十分低くできると考えられる限界の側方距離を表-4に示す。相対速度によっては、道路構造令に定められた以上の幅員が必要になることが考えられる。そのためには、当該道路がどの程度までの相対速度を許容するのか、路線および周辺地区の性格も検討する必要がある。

ところで本研究は、特に都心における自転車の専用空間が十分でないことによる歩行者・自転車の錯綜が背景となっている。現在の都心空間において単純に両者を分離することは、錯綜は解消できても、両者それぞれが得る空間の幅員が減少し、危険感知領域が結果的に拡大する可能性もはらんでいる。足達⁶⁾は都心において、分離や共存など限られた交通空間を再配分する代替案に対し、歩行者・自転車・自動車の3者がどのように評価するかを検討している。ここでは、単純な分離はある程度の評価を得るが、全体の道路空間が限定されているかぎり、3者のいずれかは大きく不満を持つことが明らかになっている。またもっとも高い評価を得たのは、「歩行者重視路線・自転車重視路線など、交通量に応じて路線の性格づけをして、めりはりのある分離を行う」「違法駐車を可能なかぎり減らし、有効な幅員を増やす」などであった。単一の路線についての単純な歩行者・自転車分離は、かえって利用できる幅員を減少させ、危険感知確率を高めることになりかねない。個々の路線ではなく対象地区全体を視野

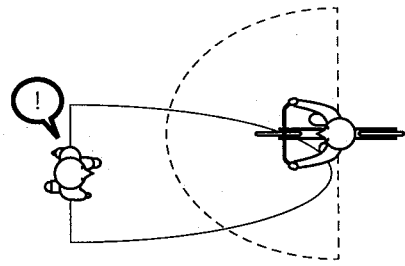


図-14 歩行者が危険を感知

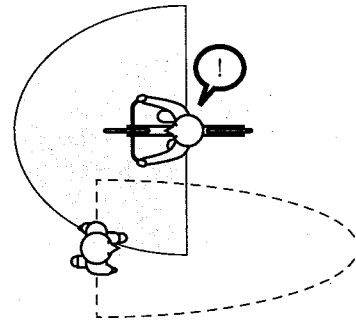


図-15 自転車が危険を感知

表-4 危険感知確率を十分低くできると考えられる側方の限界距離

相対速度 (km/h)	15	20	25
歩行者考慮幅 (m)	0.80	0.89	0.96
自転車考慮幅 (m)	1.03	1.11	1.19

に入れ、上述のような複合的な施策を行うことが不可欠であろう。

6. おわりに

本研究では、自転車・歩行者間にある、危険の感じ方の違いを危険感知領域から明らかにし、自転車と歩行者の走行区分の必要性和その際の幅員について考察した。両者の危険感知のギャップを領域・確率という形で比較した5. a) b)の成果は、歩行者・自転車の占有面積を異なる形状で、かつ所与のものとしている既存研究³⁾からは得られない知見である。

本研究は実験的アプローチにより、実験の際、歩行者を静止させるという現実的でない条件が設定されている。本実験では、準備段階として歩行者も自転車に対向して歩かせ、回避させることを試みている。しかし同じ相対速度のもとで、回避した瞬間の両者間の距離(X)が、歩行者を静止させた場合よりも遠かったか(あるいは近かったか)は確認できなかった。たとえばもし

遠かったとすれば、同じ相対速度でも現実の条件では危険感知距離が大きく、そこにバイアスが生じていることになる。このような正のバイアスなら、図-13の危険感知領域は、すくなくともX方向には拡大する。そこで、どの条件でどの程度のバイアスが生じるかを求める実験を別途行うことが考えられる。ただし、対向距離と側方距離それぞれにバイアスを考慮する必要があり、今回求めた危険感知領域を単純に拡大（あるいは縮小）することになるかどうかは、このような追加実験の結果を待たねばならない。こうした結果を本研究における成果に修正項として加えること、またさらに、サンプル数を増やして個人属性の側面からの分析を可能にすることなどが、本研究の成果に、より一般性を持たせるための展望として考えられる。

また冒頭でも述べたようにこれは基礎的研究であり、ここから道路構造・交通施策など具体的・応用的段階へ発展させるためには、たとえば3者以上の錯綜状態の影響を考慮する必要もあろう。

参考文献

- 1) 札幌方面中央警察署・札幌開発建設部・札幌市：「札幌都心部における自転車通行可の歩道及び自転車駐車場の状況」、<http://www.sp.hkd.mlit.go.jp/news/bicycle/bicycle2.html>、2003
- 2) 塚口・黒田・矢島・田中：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、pp.219-226、1989
- 3) 山中・半田・宮城：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、pp.27-37、2003
- 4) 清田・外井・梶田・松岡：歩行者と自転車の共用空間における歩行者の危険度評価、交通工学Vol.41 No.1、pp.75-83、2006
- 5) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用、2004
- 6) 足達・久米田・萩原・ムラリーダラン・加賀屋誠一：都心交通空間利用における関係主体の利害関係とその調整、地域学研究第35巻第2号、pp.399-413、2005

歩行者・自転車双方の立場から見た歩道空間における危険感知領域に関する基礎的研究

足達健夫**・吉村正浩***・萩原亨****・内田賢悦*****・加賀屋誠一*****

本研究では、歩行者・自転車接近時の危険感に影響を与える要因として、両者の位置関係と相対速度に着目し、それらの要因が変化したときの自転車と歩行者、双方が感じる危険の感じ方とその変化、また両者の相違を定量的に明らかにした。歩道空間における1対1の位置関係を実験的に再現し、そこから速度別に危険感知距離を求めた。両者の危険感知領域における主な違いは、正面付近での対向時、自転車よりも歩行者の方が先に危険を感じる傾向にある点、および互いに側方へ離れると、歩行者よりも自転車の方がより早く危険を回避する行動をとる傾向にあるという点である。

A Fundamental Study on the Danger Territories for Pedestrians and Cyclists on Sidewalk

By Takeo ADACHI*, Masahiro YOSHIMURA***, Toru HAGIWARA****,
Ken'etsu UCHIDA*****, Seiichi KAGAYA

In this paper, the distances and the relative velocities were focused on as the factors of dangers that they feel in their near miss. The experiments and the analysis cleared the differences in their feeling and in the territories in which they feel the danger between pedestrians and cyclists. Each experiment was conducted for a pair of a pedestrian and a cyclists, which gave us the distances in which they feel danger as a result. The results were mainly as follows: Pedestrians felt the danger earlier than cyclists in head-on approach. Cyclists felt it and avoided the pedestrian earlier.
