

歩道上を走行する自転車の危険度評価*

Risk Assessment of Running Bicycle on Sidewalk*

長谷部知行**・島崎敏一***・下原祥平****

By Tomoyuki HASEBE**・Toshikazu SHIMAZAKI***・Shohei SHIMOHARA****

1. はじめに

近年、環境問題や健康志向に関する関心の高まりなどから、自転車利用が見直され利用者は増加しており、今後も増加すると予測されている。自転車利用者の増加とともに自転車の事故も増加傾向にあり、中でも、自転車対歩行者の事故は平成9年から平成19年の10年間で著しく増加している¹⁾。現在、日本において自転車走行空間は約79,000kmあるが歩行者と自転車が分離された走行空間は約2,500kmでありわずか3%程度となっている²⁾。道路交通法では自転車は軽車両に含まれ、車道の左端もしくは歩行者の妨げにならないように路側帯を走行、自転車道がある場合は自転車道を走行しなければならないと定められている。また、自転車通行可規制の広幅員歩道、自転車歩行者道路（以下、自歩道とする）の場合でも、歩道の車道寄りを徐行し、歩行者を優先しなければならない。しかしながら、現実には歩道上を徐行せず走行し、歩行者の追い抜きやすり抜けなどの行為が多く見られる。

自転車に関する先行研究は、走行空間の整備に関するもの、自転車交通の特性を評価するもの、歩行者・自転車混合交通を評価したものが挙げられる。中でも、歩行者と自転車の混合交通における危険度を定式化し評価した事例は決して多くは存在しない。山中ら³⁾は、移動主体が衝突危険性を感知する接近状態をニアミスと定義しニアミス予測モデルをロジットモデルにより定式化し、ニアミス強度指標を作成し歩行者と自転車の混合交通におけるサービスレベルの提案を行っている。清田らは⁴⁾、歩行者と自転車の錯綜状態を撮影した映像を見せることにより第3者的な立場から危険度を評価させ、これをロジットモデルにより定式化し歩行者の危険予測モデルを作成している。さらに、山中ら⁵⁾は、歩行者と自転車の交錯時の危険感を予測するリスク・パーセプション・モ

デルをロジットモデルにより定式化し、歩道上で観測した実際の混合交通に適用し評価を行っている。危険度の定式化にはロジットモデルが多く用いられており、危険である、危険でないの選好による評価となっている。そこで、歩行者と自転車の中で、危険と感じる距離の認識にずれが生じているということは実証⁶⁾されているが、本研究では実験と現地調査により自転車と歩行者の危険と感じる距離のずれを定量的に把握する。さらに、歩行者が危険と感じることなく通行できるよう自転車が歩行者に安全行動を取る適切な距離（以下、回避開始距離とする）を提案し、現実空間における利用方法も検討する。なお、本研究で用いる回避開始距離とは、自転車が歩道上を走行する際に、追い抜きやすり抜けなどの運転行為を是認するものではない。また、回避開始距離の提案にあたっては、回避行動を助長するために算出するものではなく、あくまでも現象分析を行った上での定量的な指標の1つである。

2. 歩行者が自転車を危険と感じる距離の実験

(1) 実験方法

本研究では、歩行者が自転車を危険と感じる距離を実験で計測することから、実験値と呼ぶ。

実験値の計測のために男女5人ずつ計10人の学生を歩行者として選定する。選定に際し、先行研究⁵⁾では、高齢者は危険と感じやすいと実証されており年齢による差異が予測されるが、新たな手法による定式化の段階の本研究では、年齢による歩行者が自転車を危険と感じる距離の違いは考慮せず、学生からのみ選定した。実験に用いる自転車は、シティサイクルとマウンテンバイクとした。近年の自転車の販売台数⁶⁾は、シティサイクルなどの軽快車はほぼ一定の伸び率だが、マウンテンバイクなどのスポーツ車は高い伸び率となっており、今後、自転車利用者が増加していくなかで、車種が多様化すると判断したからである。実験場所は実際の歩道と同程度の幅員を有する直線区間を選定し、あらかじめメジャーを地面に張り付け自転車の進行方向に対して直角に線を引き距離の目盛を作成しておく。本研究で選定した実験場所の幅員は4.8mである。実験場所に歩行者を静止した状

*キーワード：歩行者・自転車交通計画、交通行動分析

**学生員、日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻

***フェロー、工博、日本大学理工学部土木工学科

****正会員、修（工）、日本大学理工学部土木工学科

（東京都千代田区神田駿河台1-8-14、TEL&FAX:03-3259-0989）

態で配置し、自転車を正面より接近させる。このとき自転車の速度は簡易的に自転車に取り付けられるスピードメータにより計測している。これを歩行者1人に対して、速度別にシティサイクル5回、マウンテンバイク5回の計10回行う。接近の際に危険と感じた距離で挙手や声による合図を行わせ、合図が行われた時点の距離と速度を実験値とする。また、実験は午前10時から午後3時までの間に行い、被験者の目の慣れによる実験値への影響を考慮し連続で実験を行うことは避けた。

(2) 実験結果

a) 歩行者が危険と感じた距離

歩行者の危険と感じた距離 (m) と接近の際の速度 (km/h) との関係を示したものが図 - 1 である。相関係数は $R=0.76$ であり、自転車の速度が速くなるにつれて、被験者の危険と感じる距離も長くなる傾向を示した。

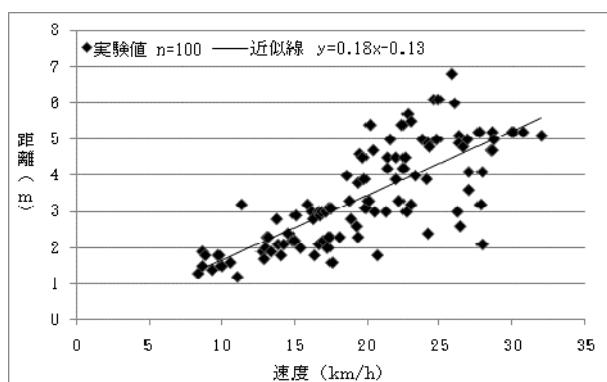


図 - 1 歩行者が危険と感じた距離

b) 性別による歩行者が危険と感じた距離

性別については、相関係数は男性が $R=0.80$ 、女性が $R=0.73$ であり、性別に関わらず自転車の速度が速くなるにつれて、歩行者の危険と感じる距離も長くなる傾向を示した。また、男性よりも女性の方が危険と感じる距離が短い傾向を示した。しかし、この傾向は統計的には有意な結果とはならなかった。

c) 車種の違いによる歩行者が危険と感じた距離

さらに、車種別については、相関係数はシティサイクルが $R=0.74$ 、マウンテンバイクが $R=0.81$ であり、車種に関わらず、自転車の速度が速くなるにつれて、歩行者が危険と感じる距離も長くなる傾向を示した。また、マウンテンバイクよりもシティサイクルの方が危険と感じる距離が長い傾向を示した。この傾向は統計的には有意とはならないが、実験後の歩行者からの意見にみられた「シティサイクルの方が怖く感じる」、「マウンテンバイクは運転者の運転が上手そうなので怖く感じない」などの、避けられないと感じるのではなく、運転者への不信

感などの歩行者が感じる心理的要因がうかがえる結果となり車種の違いは考慮する必要があると考えられる。

3. 自転車が歩行者を危険と感じる距離の測定

(1) 測定方法

本研究では、自転車が歩行者を危険と感じる距離を現地調査により測定することから、測定値と呼ぶ。

測定はビデオカメラにより対象地を俯瞰するように撮影した。対象地は、交通量の多い路線として新小岩駅付近の東京都葛飾区たつみ橋交差点、長い直線区間であり視覚的分離が行われている路線として水道橋駅付近の東京都文京区外堀通り (写真 - 1) を選定した。幅員はそれぞれ 5.6m, 3.7m である。ここで、視覚的分離とは自歩道において舗装の彩色や材質で自転車と歩行者の通行区分を明示し分離を行っているものである。撮影時間は、新小岩、水道橋とも交通量が多いと見込まれる午前中とした。自転車が歩行者を危険と感じる距離は、撮影の前にあらかじめ測定を行い、サンプルが横断歩道や敷石などを通過する際の位置により測定した。自転車が歩行者を危険と感じる距離は歩行者を避けるために自転車の挙動が変化した時点での歩行者と自転車との距離とする。速度は、映像内において定めた区間の距離をストップウォッチにより測定した通過時間で除することで算出した。また、速度は実験との整合性を図るために歩行者が停止時の速度となるように相対速度として扱う。すなわち、追い越しの状況では、歩行速度と走行速度の差、擦れ違いの状況では、歩行速度と走行速度の和とする。



写真 - 1 測定地の写真 (水道橋)

(2) 測定結果

a) 新小岩における結果

新小岩は交通量が多いこともあり歩行者と自転車の追い越さないしすれ違いの際に側道や店舗などから出てく

るなどの第3者の影響を受けてしまうサンプルがみられた。本研究では、歩行者と自転車が危険と感じる距離の差を知ることを目的に測定を行ったため第3者の影響を受けたサンプルは除外した。自転車の回避開始距離(m)と歩行者と自転車の相対速度(km/h)の関係を示したものが図-2である。相関係数は $R=0.75$ であり、自転車の速度が速くなるにつれて、自転車利用者の回避開始距離も長くなる傾向を示した。さらに、実験値との比較を行うと、歩行者が危険と感じる距離よりも長い距離で避け始めている。これは、自転車利用者が歩行者を追い抜き・すれ違う際にある程度の危険を知覚しているためと考えられる。

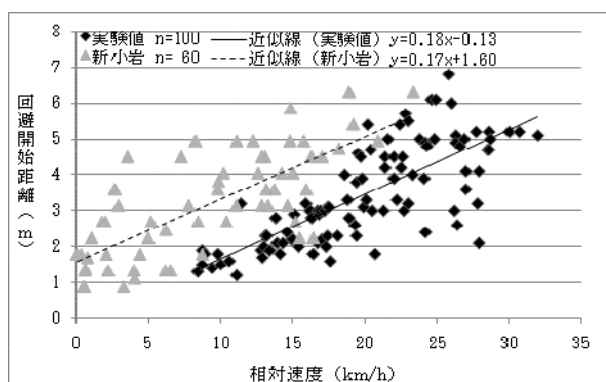


図-2 新小岩の回避開始距離と実験値

b) 水道橋における結果

水道橋についても同様の関係を示したものが図-3である。相関係数は $R=0.66$ であり、新小岩と同様に自転車の速度が速くなるにつれて自転車利用者の回避開始距離も長くなる傾向を示した。さらに、実験値との比較を行うと、全体としては歩行者の危険と感じる距離よりも長い距離で避け始めている。しかしながら、1部歩行者が危険と感じる距離よりも短い距離で避け始めているサンプルが見られる。これは、水道橋は長い直線であるために視覚的分離が行われているにもかかわらず蛇行運転などを行うサンプルがみられたためであると考えられる。

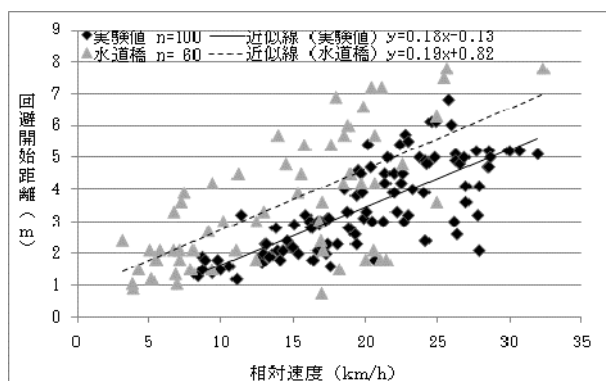


図-3 水道橋の回避開始距離と実験値

c) 新小岩と水道橋の比較

さらに、新小岩と水道橋についての比較を行う(図-4)。新小岩よりも水道橋のほうが全体的に相対速度は速い傾向にある。これは、山中ら⁷⁾が検証しているように視覚的分離のなされた自歩道では速度が増すことに起因していると考えられる。さらに速度が速いことから新小岩よりも水道橋のほうが短い距離で歩行者を避け始めていると考えられる。

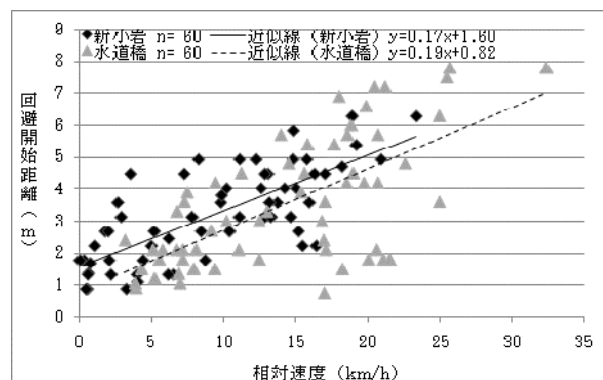


図-4 回避開始距離(対象地比較)

d) 運転者の性別による比較

運転者別に比較を行うと、新小岩においても男性よりも女性のほうが危険と感じる距離が短くなる傾向を示した。しかし、歩行者の場合と同様に統計的に有意な結果とはならなかった。一方、水道橋は性別による危険と感じる距離の相違は見られなかった。

4. 安全な回避開始距離の提案

(1) 2変量正規分布

本研究では、相対速度、回避開始距離の分布を正規分布と仮定する。正規分布と仮定した相対速度 X と回避開始距離 Y を変数として(1)式により算出した2変数関数を図示すると等高線状となる。これに、測定値の近似線を重ねる(水道橋の測定結果を例としたものが図-5)。等高線は、ある速度と回避開始距離での危険と感じる同時確率密度が一定の線を表している。近似線は、自転車の回避開始距離の回帰直線である。すなわち、図-5においては、正規分布を仮定していることより近似線上の数値では自転車利用者の約50%の人がその距離で歩行者を避けることを安全に感じている距離となる。

$$f = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}} \exp \left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left(\left(\frac{X-\mu_x}{\sigma_x} \right)^2 - 2\rho \left(\frac{X-\mu_x}{\sigma_x} \right) \left(\frac{Y-\mu_y}{\sigma_y} \right) + \left(\frac{Y-\mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right) \right] \quad (1)$$

- X : 自転車と歩行者の相対速度
 Y : 回避開始距離
 σ_x : 相対速度の標準偏差
 σ_y : 回避開始距離の標準偏差
 μ_x : 相対速度の平均
 μ_y : 回避開始距離の平均
 ρ : 相対速度と回避開始距離の相関係数

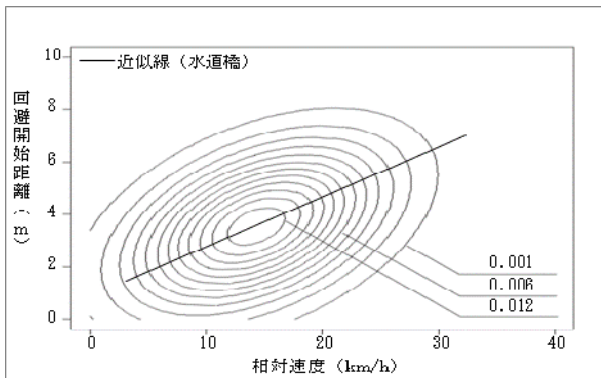


図 - 5 2変量正規分布による等高線 (水道橋)

さらに、(1) 式を回避開始距離 Y について近似線から無限大まで、相対速度 X について 0 から有限の値まで積分することにより、自転車が歩行者を危険と感じる確率 p が算出できる ((2) 式)。ここでは、相対速度を用いていることから有限の値を 100km/h とした。(2) 式は近似線の切片と傾きにのみ依存しており、切片 b の値を変化させることで安全と感じる割合を変化させることができる。すなわち、 p は提案する回避開始距離の限界値である回避開始限界線となる。

$$p = \int_0^{100} \int_{a+b}^{\infty} \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}} \exp \left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left(\left(\frac{X-\mu_x}{\sigma_x} \right)^2 - 2\rho \left(\frac{X-\mu_x}{\sigma_x} \right) \left(\frac{Y-\mu_y}{\sigma_y} \right) + \left(\frac{Y-\mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right) \right] dY dX \quad (2)$$

- p : 自転車が歩行者を危険と感じる確率
 X : 自転車と歩行者の相対速度
 Y : 回避開始距離
 σ_x : 相対速度の標準偏差
 σ_y : 回避開始距離の標準偏差
 μ_x : 相対速度の平均
 μ_y : 回避開始距離の平均
 ρ : 相対速度と回避開始距離の相関係数
 a : 近似線の傾き
 b : 近似線の切片

(2) 新小岩と水道橋の回避開始距離

清田ら⁴⁾によれば、歩行者と自転車がすれ違う際に距離を離しても少なくとも17%の歩行者が危険と感じるとされている。そこで、本研究では少なくとも90%の歩行者が安全と感じる距離を回避開始距離とした。

(2) 式の近似線の切片を変化させ90%の人間が安全だと感じる距離が図-6の90%回避開始限界線(速度変化あり)である。しかしながら、一般的に歩道において速度の違いは人間の知覚ではわかりにくいことが多い。そこで本研究では、歩道を対象としているために速度に関係なく安全な回避開始距離を提案する。(2) 式において近似線の傾きを $a=0$ として速度の違いによる人間の知覚の変化を考慮しない90%の自転車が危険を感じない距離が図-6の90%回避開始限界線(速度変化なし)である。

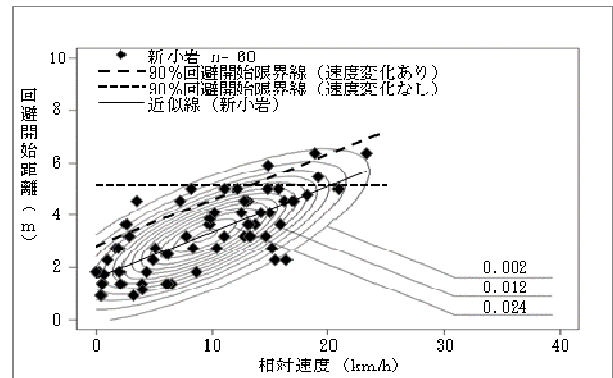


図 - 6 新小岩における等高線と回避開始限界線

ここで、図-6の90%回避開始限界線(速度変化なし)の相対速度20km/h付近においては約50%程度の人間しか安全と感じない値となる。すなわち、ある相対速度からは速度の変化を無視できなくなる。そこで、速度変化を考慮した回避開始限界線と速度変化を考慮しない回避開始限界線を組み合わせたものを90%の自転車が危険を感じない回避開始限界線とする(図-7)。このときの回避開始距離は5.1mとなる。

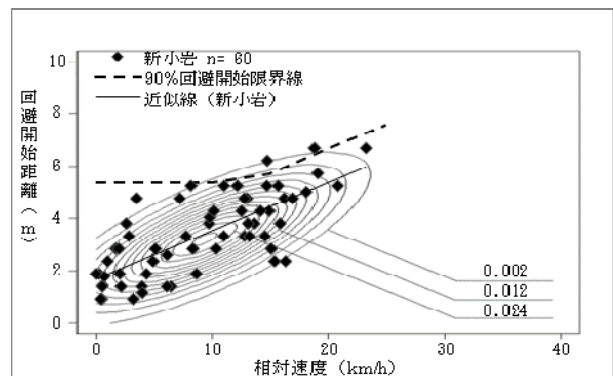


図 - 7 新小岩における等高線と回避開始限界線

同様に、水道橋についてもある相対速度からは速度変化が無視できなくなるので、速度変化を考慮した回避開始限界線と速度変化を考慮しない回避開始限界線を組み合わせることで90%の自転車が危険を感じない回避開始限界線とする(図-8)。このときの回避開始距離は6.1mとなる。

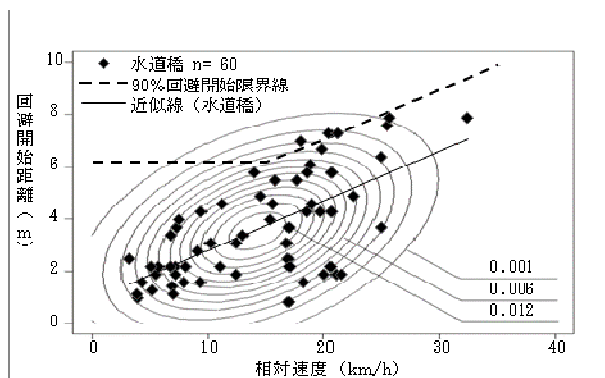


図-8 水道橋における等高線と回避開始限界線

(3) 追い越し・すれ違い別の回避開始距離

歩道上において、自転車が歩行者を避ける際に追い越しとすれ違いでは歩行者が安全と感じる距離に心理的な違いがあると考えられる。そこで、ここでは追い越しとすれ違い別に回避開始距離を算出する。

追い越しにおける回避開始距離は新小岩では5.1mであり、水道橋は4.3mである(図-9)。水道橋は視覚的分離がなされ長い直線であることから追い越しの際には歩行者に近い状態で回避する傾向にあるために90%回避開始限界線においても回避開始距離が短くなっていると考えられる。

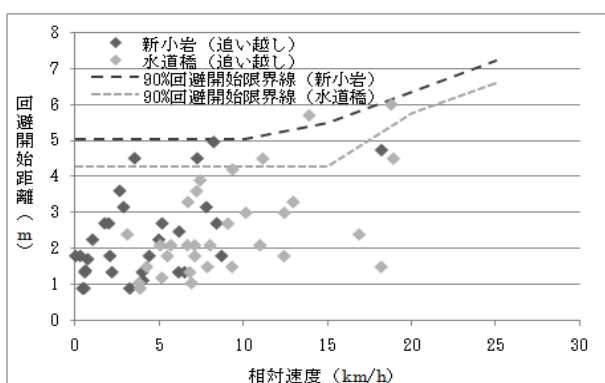


図-9 追い越しにおける回避開始距離

同様に、すれ違いについても回避開始距離を算出する。すれ違いにおける回避開始距離は新小岩では5.2mであり、水道橋では7.3mである(図-10)。水道橋と新小岩では2mもの差がある。これは、長い直線区間であることも影響しているが水道橋は近似線の傾きが大きい

め傾きを0とした影響が大きく実際よりも大きい値となったと考えられる。

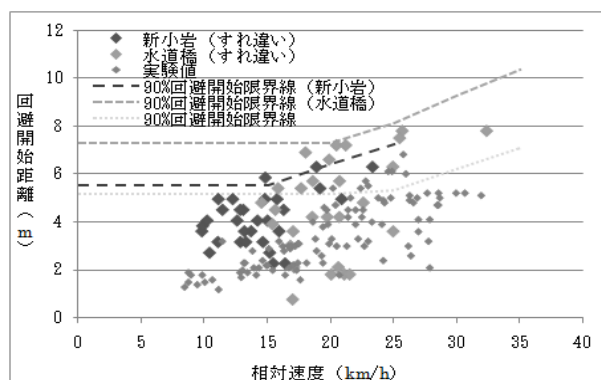


図-10 すれ違いにおける回避開始距離

(4) 回避開始距離の提案

実験値より歩行者の90%が安全と感じる距離を算出すると5.2mとなる(図-11)。ここで、歩行者の90%が安全と感じる距離を算出する際に実験ではあらかじめ速度を決めて行ったために相対速度 X は正規分布とならないが正規分布として算出した。このときの回避開始距離は5.2mとなる。

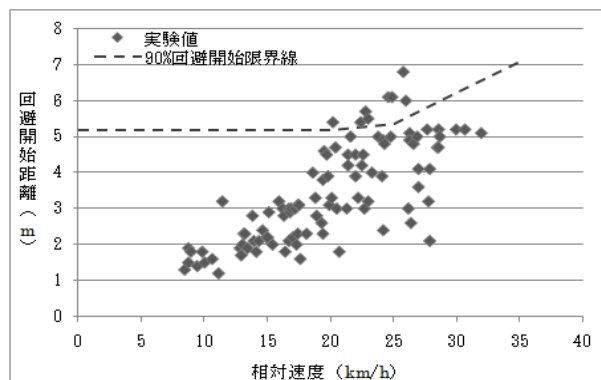


図-11 歩行者の安全と感じる距離

これを各条件別の回避開始距離と比較すると、水道橋においては歩行者が安全と感じる距離よりも長い距離で避け始める結果となり、新小岩においては、短い距離で避け始める結果となった。追い越しにおいては、新小岩、水道橋双方とも短い距離で避け始める結果となった。すれ違いにおいては、新小岩では同じ距離、水道橋では長い距離で避け始める結果となった。また、その他の条件別の自転車の回避開始距離と歩行者の安全と感じる距離を示す(表-1)。新小岩についてはマウンテンバイクのサンプルが少なかったために車種別の回避開始距離は算出しなかった。性別にみると男性よりも女性の方が危険と感じる距離が短くなる傾向にある。車種別にみると実験値と同様にマウンテンバイクよりもシティサイクルの

ほうが危険と感じる距離が長くなる傾向を示した。

表ー1 自転車と歩行者の各属性別の安全と感じる距離

属性	新小岩	水道橋	実験値
男性	5.2m	6.3m	5.2m
女性	5.0m	5.8m	5.2m
シティサイクル	-	7.1m	5.3m
マウンテンバイク	-	5.8m	5.1m

本研究で得られたすべての測定値から90%の歩行者が安全だと感じる回避開始距離を算出すると、5.4mとなる。すなわち、より安全を考慮し本研究では自転車は追い越しまたはすれ違いであっても速度に関係なく6.0m以内に歩行者に接近したら避け始めるべきであると提案する。

5. おわりに

本研究では、法律上は違反であるが日常的に発生している歩道上における自転車の追い越しやすれ違いなどの回避行動に注目をした。その中でも回避する際の距離に焦点を当てた。回避行動の実態を明らかにするとともに、新たな手法を用いて90%の歩行者が安全と感じる回避開始距離を6.0mと提案した。しかしながら、実際の歩道上では危険と感じる距離のずれ以外の要因も影響していると考えられる。回避開始距離の利用については、交差点において自転車占有空間から歩行者・自転車混在空間への誘導に必要な距離などへの応用が挙げられる。今後の課題としては、本研究で対象とした路線以外の特徴を

有する路線を対象とすること、高齢者の事故等が報道される中で学生のみを被験者としたことによる回避開始距離の適用範囲が限定的であること、本研究では距離だけに焦点を当てたが、回避幅の考慮、歩行者換算密度と回避開始距離の関係を明らかにすることなどが挙げられる。また、モデル式は正規分布を仮定していることから、明らかに正規分布とならない事象には有効ではなく限界があることも挙げられる。

課題は残るものの本研究では現象分析だけでなく定量的な1指標を提案した。今後の自転車に関する研究や街路設計などに本指標が用いられることを期待したい。

参考文献

- 1) 警察庁ホームページ：<http://www.npa.go.jp/>
- 2) 国土交通省ホームページ：<http://www.mlit.go.jp/>
- 3) 山中英生, 半田佳孝, 宮城祐貴：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, pp. 27-37, 2003
- 4) 清田勝, 外井哲志, 梶田佳孝, 松岡淳：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, No41, pp. 75 - 83, 2006
- 5) 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
- 6) 自転車産業振興協会ホームページ：<http://www.jbpi.or.jp/>
- 7) 山中英生, 肌野一則, 半田佳孝：利用者の挙動と安全感から見た自転車歩行者道におけるレーン表示の効果, 土木計画学研究・論文集, Vol. 19, No. 4, pp. 613-618, 2002

歩道上を走行する自転車の危険度評価*

長谷部知行**・島崎敏一***・下原祥平****

本研究では、歩行者・自転車混在空間を対象に、事故の原因に危険と感じる距離に歩行者と自転車の間で認識のずれが生じているという仮説を立てた。歩行者の危険と感じる距離を実験により計測し、自転車利用者の危険と感じる距離を実際の街路での回避挙動として測定した。歩行者・自転車の危険と感じる距離を分析し速度が高くなるごとに危険と感じる距離は長くなる傾向にあること明らかにした。さらに、2変量正規分布を適用して歩行者の90%が安全と感じる自転車の回避開始距離を追い抜きやすれ違いなどの条件別に算出し、全データより6.0mと提案した。さらに、提案した指標を実際の空間においての適用事例を検討した。

Risk Assessment of Running Bicycle on Sidewalk*

By Tomoyuki HASEBE**・Toshikazu SHIMAZAKI***・Shohei SHIMOHARA****

In this research, it hypothesizes that cause of bicycle accidents are gap risk distance of pedestrian between risk distance of bicycle. Risk distance of pedestrian were survey by experimentation. Risk distance of bicycle were survey by evasion behavior on sidewalk. It showed that the more speed became higher, the more risk distance of pedestrian and bicycle gets longer. Evasion start distance of a bicycle on safety pedestrians of 90% showed by two variable quantities normal distribution. Finally, it suggested that evasion start distance of a bicycle safety pedestrians of 90% is 6.0 meters.