

令和 4 年 8 月 29 日現在

機関番号：57501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12675

研究課題名(和文) 歩行者の危険感知予測モデルに基づく自転車歩行者道の設計システムの提案と評価

研究課題名(英文) Development on a design system for bicycle and pedestrian path using virtual environment

研究代表者

田中 孝典 (TANAKA, TAKANORI)

大分工業高等専門学校・都市・環境工学科・教授

研究者番号：10450149

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、被験者がヘッド・マウント・ディスプレイを介して歩道上で走行自転車とすれ違う3次元化された映像および向映像を基に制作したバーチャルリアリティーの映像を視聴することにより、被験者に走行自転車とすれ違いを疑似体験させる。次に、被験者が走行自転車とのすれ違い疑似体験により危険を感知したデータを用いたロジスティック回帰モデルにより歩行者の危険感知について検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実験の動画映像およびVR映像の実験結果を用いて変数選択法の変数減少法によるロジスティック回帰分析を実施した結果、論理性および説明力の観点から自転車歩行者道上において走行自転車とすれ違う歩行者の危険感知の予測モデルの適合性は良好であった。VR映像による予測式から走行自転車と前方ですれ違う場合には、すれ違う間隔が1.4m以上、後方からの場合には、すれ違う間隔が1.7m以上であれば、危険を感知する歩行者は少ないことが示された。

研究成果の概要(英文)：The authors aim to propose the design of a bicycle and pedestrian track that reduces pedestrians' dangerous sensations through virtual space. This paper, as a preliminary experiment, investigates subjects' dangerous sensations putting on a head mount display (HMD) on the condition that the running speed of a bicycle and interval distance between a bicycle and a pedestrian are different when they are passing each other in the HMD and examines the factors affecting the dangerous sensations of subjects by using logistics regression analysis the data of which is the result of the investigation.

研究分野：交通工学

キーワード：歩行者 走行自転車 自転車歩行者道 危険感知

## 歩行者の危険感知予測モデルに基づく自転車歩行者道の設計システムの提案と評価

### 1. 研究開始当初の背景

近年、自転車関連事故は社会問題として認識されている。警視庁の資料によると、平成 21 年以降の過去 10 年間で自転車関連事故件数が約 50%減少したことに對し、自転車對歩行者の交通事故件数は約 10%の減少である<sup>1)</sup>。

自転車安全利用五則によると道路交通法上、自転車は軽車両と位置付けされており、車道と歩道の区別のある道路では自転車は車道を通行することが原則となっている。自転車の安全利用を推進するための基礎資料を作成すべく、15 歳から 80 歳を対象とした意識調査(自転車利用者:15,242 数、歩行者:5,713 数)が実施されている<sup>2)</sup>。この中で、歩道を走行する自転車利用者が 50%弱であり、特に女性の割合が高いことが明らかとなった。自転車で歩道を走行する理由には、車道の幅員が十分でないことや歩道の方がゆっくり運転できるなど、歩道に対する安心感が要因となっていることが考えられる。次に、歩行者が感じる自転車の迷惑・危険行為に対する調査では、歩道走行に関するものであり、歩道通行時に自転車がすぐ傍を通り過ぎた、歩道通行時に自転車が危険な速度で通り過ぎたことが上位 2 項目で、両項目ともに調査結果の割合の 50%以上を占めている。過去 1 年間における自転車對歩行者の交通事故になりそうなケースの調査では、自転車利用者が感じている以上に、歩行者の方が事故の危険を感じている可能性が高いようである。また、歩行者が遭った交通事故の発生場所は歩道(歩道内の自転車専用通行帯以外)が最も高く、約 45%であった。

著者らは予備的な実験として、路面上に設置したカメラの横を走行する自転車を撮影した。その映像を 3 次元に加工し、ヘッド・マウント・ディスプレイ(以下、HMD という。)通して、被験者に走行自転車とすれ違いを疑似体験させる。そこで得られた危険感知データを用いて、歩行者が感知する危険確率を予測することが可能であることが分かった<sup>3)</sup>。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、大分市内の県道 685 号線における歩道(幅員 5.6 m)上に、設置したビデオカメラの横を自転車が走行する際に撮影した映像を 3 次元に加工するとともに、同映像を基にコンピュータグラフィックスで再現した VR 映像を制作した。被験者に HMD(VIVE htc)を介して 3 次元化した動画映像と VR 映像を視聴させることにより、歩行者の走行自転車とのすれ違いを疑似体験する実験環境を構築する。次に、歩行者が走行自転車とすれ違う条件を変化させて、歩行者が危険を感知するデータを収集し、ロジスティック回帰分析を用いて実験の動画映像と VR 映像について危険を感知する予測モデルの比較・検討を行った。

### 3. 研究の方法

歩行者が走行自転車とすれ違う際の映像の撮影は、2 台の超広角コンパクトビデオカメラ(エルモ QBiC MS-1)をレンズ中心間隔 6cm(一般的な人の瞳孔間距離)に離して平行に固定した。両カメラは歩道路面から日本人男性の平均身長 170cm の視線高さである 160cm に調整した三脚頭部に設置した。撮影は、カメラを設置した三脚の横側を自転車が走行する映像を記録した。本研究では同図に示す自転車の走行速度、すれ違う間隔、すれ違う状況、すれ違う側およびカメラ移動の有無をすれ違う条件を変化させて撮影を行った。

次にカメラ 2 台で撮影した映像は、動画の連結機能などを備えたフリーライセンスの動画編集ソフト(AviUtl)を用いて 3 次元映像を、VR 映像については 3 次元映像に基づいて、フリー

ライセンスで VR などに対応するゲームエンジン (unity) と 3 次元モデル作成などの機能を有するフリーソフトウェア (blender) により制作し, HMD 内部に設置された左右の液晶画面に映像が出力されるように編集した. 3 次元映像の一例を図 1 に, VR 映像の一例を図 2 示す. 被験者は, 図 3 に示すように HMD を介してすれ違う条件が異なる走行自転車の映像を視聴することにより走行自転車とすれ違う状況を疑似体験する. その際, 被験者には危険を感じた場合にはレコーダー (電子式数取機 DK-5005B) のキーを押すように指示した. 本研究では, 被験者のキーを押す行為を, 危険感知の信号として測定する.



図 1 3 次元映像の一例 (前方) 図 2 VR 映像の一例 (前方) 図 3 危険感知の測定

歩行者が走行自転車に危機を感知するのは, 自転車および周辺環境の目測を自身の経験に擬え, 身の危険を予知することで生じることに因んだ現象と考えられる. 本研究では, 歩行者が主観的に危険感知を算出する際に鑑みる要素を表 1 に示しており, これらを引数としたロジスティック回帰分析を用いて危険感知予測モデルを構築する.

ロジスティック回帰分析を本研究に適用する際, 歩行的変数, すれ違う条件の項目を説明変数としてそれぞれ取り扱う. このように実施するロジスティック回帰から, 危険度関数  $Z$  は式(1)のように表される.

$$z = \sum_{i=1}^5 a_i x_i + b \quad (1)$$

ここで,  $a_i$  は各説明変数の影響を示す回帰係数,  $x_i$  は説明変数である.  $x_1$ : 走行自転車の速度,  $x_2$ : すれ違う間隔,  $x_3$ : すれ違う状況の前・後方を表すダミー変数 ( $x_3 = 0$  (前方),  $1$  (後方)),  $x_4$ : すれ違う側を表すダミー変数 ( $x_4 = 0$  (壁側),  $1$  (車道側)),  $x_5$ : 歩行者移動速度を表すダミー変数 ( $x_5 = 0$  (0km/h),  $1$  (5km/h)),  $b$ : 定数項である.

危険度関数  $Z$  を用いると, 歩行者が走行自転車を危険と感知する確率  $P$  は式(2)のように示される.

$$p = \frac{\exp(Z)}{\exp(Z)+1} \quad (2)$$

ロジスティック回帰分析においては, 説明変数に対する強さを示す回帰係数を求めるために最尤法を用いる.

表 2 に示した 3 次元映像における的中率は約 74%, 尤度比は 0.24 であり, 表 3 の VR 映像では的中率は約 84%, 尤度比は 0.45 の結果となったことから, 双方のロジスティック回帰分析によるモデルの適合性は良好と考えられる.

次に, 表 1 - 表 2 においてすれ違う側および歩行速度の説明変数の  $P$  値が 0.05 を超えたことから, これらの説明変数は有意ではないと判断し, これらを除外した後, Excel を用いた変数選択法の変数減少法によるロジスティック回帰分析を実施した<sup>4)</sup>. その結果は表 3 - 表 4 に示す

とおりであり，3次元映像の危険度関数 Z は式(3)，VR映像のそれは式(4)のように導かれた．

$$Z = 0.057x_1 - 3.353x_2 + 0.648x_3 + 0.910 \quad (3)$$

$$Z = 0.139x_1 - 6.224x_2 + 1.871x_3 + 0.902 \quad (4)$$

式(3)，(4)において  $x_1$  は走行自転車の速度 (km/h)， $x_2$  はすれ違う間隔 (m)， $x_3$  はすれ違う状況 (前方，後方) であり，0.910 と 0.902 は定数項である．これにより両予測式から歩行者が感知する確率 P が求められることになる．走行自転車の速度における偏回帰係数はプラスであり，速度が増すほど予測式の確率 P は大きくなり，一方で，すれ違う間隔の偏回帰係数はマイナスであることから，すれ違う間隔が大きいほど予測式の確率 P は小さくなる論理性を有している．的中率からは，式(3)は 75%，式(4)では 84%の精度で歩行者の危険感知を予測することができること，また，VR映像の実験値を用いて歩行者の危険感知を予測できることが示唆された．

表 1 3次元映像 ロジスティック回帰分析  
(モデル的中率 74% 尤度比 0.24)

| 説明変数               | 偏回帰係数  | オッズ比  | P値                  |
|--------------------|--------|-------|---------------------|
| 走行自転車の速度           | 0.140  | 1.150 | 0.000*              |
| すれ違う間隔             | -6.237 | 0.002 | 0.000*              |
| すれ違う状況(後方基準) 前方ダミー | 1.880  | 6.557 | 0.000*              |
| すれ違う側(壁側基準) 車道側ダミー | -0.208 | 0.812 | 0.160 <sup>NS</sup> |
| 歩行速度               | -0.063 | 0.939 | 0.672 <sup>NS</sup> |

P\* < 0.05, NS: not significant (n=1500)

表 2 VR映像 ロジスティック回帰分析  
(モデル的中率 84% 尤度比 0.45)

| 説明変数               | 偏回帰係数  | オッズ比  | P値                  |
|--------------------|--------|-------|---------------------|
| 走行自転車の速度           | 0.056  | 1.058 | 0.000*              |
| すれ違う間隔             | -3.378 | 0.034 | 0.000*              |
| すれ違う状況(後方基準) 前方ダミー | 0.642  | 1.900 | 0.000*              |
| すれ違う側(壁側基準) 車道側ダミー | 0.212  | 1.236 | 0.090 <sup>NS</sup> |
| 歩行速度               | 0.215  | 1.240 | 0.080 <sup>NS</sup> |

P\* < 0.05, NS: not significant (n=1500)

表 3 3次元映像 ロジスティック回帰分析  
(変数減少後)

(モデル的中率 75% 尤度比 0.24)

| 説明変数               | 偏回帰係数  | オッズ比  | P値     |
|--------------------|--------|-------|--------|
| 走行自転車の速度           | 0.057  | 1.058 | 0.000* |
| すれ違う間隔             | -3.353 | 0.034 | 0.000* |
| すれ違う状況(後方基準) 前方ダミー | 0.648  | 1.911 | 0.000* |

P\* < 0.05 (n=1500)

表 5 VR映像 ロジスティック回帰分析  
(変数減少後)

(モデル的中率 84% 尤度比 0.45)

| 説明変数               | 偏回帰係数  | オッズ比  | P値     |
|--------------------|--------|-------|--------|
| 走行自転車の速度           | 0.139  | 1.150 | 0.000* |
| すれ違う間隔             | -6.224 | 0.002 | 0.000* |
| すれ違う状況(後方基準) 前方ダミー | 1.871  | 6.496 | 0.000* |

P\* < 0.05 (n=1500)

図 4 - 図 5 は，縦軸にすれ違う間隔，横軸に自転車の走行速度をとって，的中率が高かった VR映像の変数減少法によるロジスティック回帰分析の予測式による危険感知率 P を示したものである．前方からのすれ違う状況において，すれ違う間隔が 0.4m 以下なら歩行者が危険を感知する確率は 50%を超え，すれ違う間隔が 1.4m 以上になると危険感知の確率は小さい．また，すれ違う状況が後方の場合には，すれ違う間隔が 0.7m 以下では歩行者の危険感知確率は 50%を超えること，1.7m 以上なら危険を感知する歩行者は少ない結果となった．

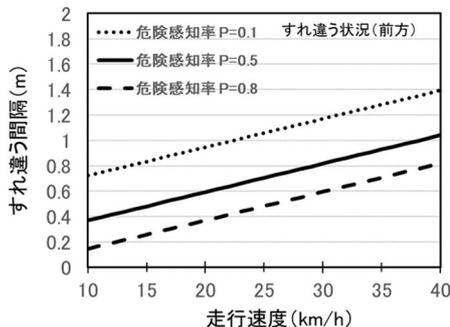


図 4 VR映像の予測式による危険感知確率と走行速度およびすれ違う間隔(前方)

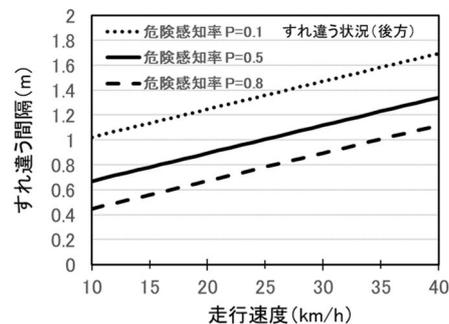


図 5 VR映像の予測式による危険感知確率と走行速度およびすれ違う間隔(後方)

#### 4. 研究成果

本研究の結果を要約すると以下のとおりである．

- ( 1 ) 自転車の走行速度が速く , すれ違う間隔が小さいほど危険を感知する割合は高くなる傾向がみられた .
- ( 2 ) 実験結果を用いて変数選択法の変数減少法によるロジスティック回帰分析を実施した結果 , 論理性および説明力の観点から危険感知の予測モデルの適合性は良好であった .
- ( 3 ) VR 映像による危険感知の予測モデルは , 実験の動画映像のそれに比べて的中率および尤度比が高く , VR 映像による実験値を用いて歩行者の危険感知を予測できることが示唆された .
- ( 4 ) すれ違う状況が前方 , 後方の危険感知の確率は , すれ違う条件 ( 自転車の走行速度 , すれ違う間隔 ) が同じであれば , 後方からすれ違う場合が高い値を示した .
- ( 5 ) VR 映像による予測式から走行自転車と前方ですれ違う場合には , すれ違う間隔が 1.4m 以上 , 後方からの場合には , すれ違う間隔が 1.7m 以上であれば , 危険を感知する歩行者は少ないことが示された .

#### 引用文献

- 1) 道路の交通に関する統計 (警視庁 e-Stat、R2.2.13) ,  
<https://www.mlit.go.jp/road/road/bicycle/pdf/001.pdf> , 2020.9.11 参照
- 2) 27 年度自転車の交通ルールに関する意識調査報告書 (概要版) , 一般財団法人自転車産業振興協会 (平成 28 年 3 月)  
[https://www.jbpi.or.jp/report\\_pdf/2016\\_06.pdf](https://www.jbpi.or.jp/report_pdf/2016_06.pdf)
- 3) 田中孝典・高野陽平・植木寛太・徳安達士 (2018) . 走行自転車とすれ違う歩行者の危険感知に関する調査 , 第 38 回交通工学研究発表会論文集 , 721-724 .
- 4) 長沢伸也・中山厚穂 (2009) . Excel ソルバー多変量解析 - 因果関係分析・予測手法編 - , 日科技連出版社 , 137-168 .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>田中孝典, 徳安達士                                    | 4. 巻<br>Vol.51. No.1 |
| 2. 論文標題<br>実験映像とバーチャルリアリティによる走行自転車とすれ違う若年歩行者の危険感知に関する考察 | 5. 発行年<br>2020年      |
| 3. 雑誌名<br>交通科学  | 6. 最初と最後の頁<br>47-54  |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし                           | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）                   | 国際共著<br>-            |

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|                   | 氏名<br>（ローマ字氏名）<br>（研究者番号）                         | 所属研究機関・部局・職<br>（機関番号）                  | 備考 |
|-------------------|---|--|----|
| 研究<br>分<br>担<br>者 | 徳安 達士<br><br>(TOKUYASU TATSUSI)<br><br>(50435492) | 福岡工業大学・情報工学部・教授<br><br><br><br>(37112) |    |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|         |         |