

心拍計と 360 度カメラを用いた自転車走行空間走行時の安心度の評価 —千葉県船橋市を対象として—

千葉工業大学 学生会員 ○沢田 葵 千葉工業大学 非会員 佐藤 勇太
千葉工業大学 正会員 佐藤 徹治

1. はじめに

コロナ禍での安全な移動に対するニーズの高まり、環境や健康への意識向上などを背景として、近年、自転車の利用が拡大している。日本における自転車関連事故件数は過去 10 年で約 50%減少した一方で、自転車対歩行者の事故件数は 5%の減少にとどまっている。そのため、自転車と歩行者が安全・快適に走行・歩行できる自転車走行空間および歩行空間の整備はあらゆる都市で喫緊の課題となっている。

自転車走行空間の快適性・安全性に関する既往研究としては、三輪ら (2011)¹⁾、渋谷ら (2012)²⁾、鈴木ら (2012)³⁾、幅岸ら (2021)⁴⁾がある。三輪らは、自転車走行空間整備による自転車利用行動の変化をアンケート調査を基に分析している。渋谷らは、自転車走行空間の代表的な評価手法である BCC、満足度評価、ストレス計測手法を比較し、各手法の特徴や有効な適用方法について考察している。鈴木らは、ホルター心電計を使用した走行実験で得られた心拍データから安全性・快適性を定量的に評価する手法を提案し、実際の走行空間の整備形態別の評価を行っている。幅岸らは、鈴木らの手法を参考に評価モデルを構築し、千葉市内の自転車走行空間が快適性に及ぼす影響を検証している。しかし、これらの既往研究の走行実験は、極めて少数の被験者に対して実施されており、分析結果の一般性が低い可能性がある。このため、多様な属性の多くの被験者に対して簡便に行うことができる実験方法の確立が求められている。

そこで、本研究では 360 度カメラを用いた動画撮影、撮影した動画、VR ゴーグル、心拍計を用いた疑似的な走行実験の手法を提案する。また、提案した手法を千葉県船橋市の自転車走行空間に適用し、自転車専用通行帯など各種走行空間走行時の安心度の評価を行う。

2. 疑似走行実験の方法

まず、対象路線の走行動画を 360 度カメラで撮影する。360 度カメラには「RICOH THETA V」を用いる。

疑似走行実験では、各被験者に心拍計と VR ゴーグルを装着してもらい、走行動画を VR ゴーグルで視聴しながら実験室に固定した自転車を漕いでいただく。心拍計は「Polar Sense 心拍センサー」を、VR ゴーグルは「Lenovo Mirage Solo with Daydream」を、フィッ

トネスバイクは「ALINCO」を用いる。また、実験終了後、各路線の交通に対する安心感等を 5 段階で評価するアンケートに回答していただく。

図-1 に、疑似走行実験の様子を示す。



図-1 疑似走行実験の様子

3. 安心度の評価手法

本研究では、疑似走行実験から得られた被験者の心拍間隔のデータを用いた CHM (Comfort based on Heart rate Method) 分析を行い、様々な自転車走行空間の安心度の評価を行う。CHM は、瞬時の心理負担の変動を表現する心拍間隔 (RRi) のばらつきを LP (Lorenz Plot) により解析し、安心度の検討を行うための指標である。

LP とは、グラフ上の横軸に n 番目の RRi、縦軸に n+1 番目の RRi をプロットした後、プロットされた全ての点を y=x 軸上と y=-x 軸上に投影し、y=x 軸上における原点からの距離の標準偏差 σ_x を長軸、y=-x 軸上における原点からの距離の標準偏差 σ_{-x} を短軸として作成される楕円を指す。LP 面積 (S) は次式により求められる。

$$S = \pi * \sigma_x * \sigma_{-x} \quad (1)$$

しかし、LP 面積は被験者ごとに生じる個人差を考慮できないため、リラックスした状態における LP 面積 (平常値) を基準として路線別 LP 面積の比率を取り、その逆数を用いて比較・分析を行う。この逆数を本研究では安心度と呼び、次式により求める。

$$R_{i,k} = 1 / (S_{i,k} / S_{l,k}) \quad (2)$$

$R_{i,k}$: 個人 k の路線 i の安心度

$S_{i,k}$: 個人 k の路線 i の LP 面積 $S_{l,k}$: 個人 k の平常値

本研究では、自転車専用通行帯の有無に加え、(2) 式で定義される安心度に影響を及ぼすと考えられる車

道部幅員、自転車走行空間幅員の道路特性、個人ダミーを説明変数とする安心度の評価モデルを構築する。本研究の評価モデルを(3)式で示す。

$$R_{i,k} = a_0 + \sum_k a_k D_k + b D_{c,i} + \sum_n c_n x_{n,i} \quad (3)$$

a_0 : 定数項 a_k, b, c_n : 回帰係数 D_c : 自転車通行帯ダミー D_k : 個人ダミー x_n : n 番目の道路特性

4. 船橋市内の自転車走行空間の評価

(1) 船橋市における自転車走行空間の整備状況

千葉県船橋市は、2015年に狭隘な道路環境において早期に安全な自転車走行環境を整備するため、自転車走行空間の整備形態を検討した『船橋市自転車走行環境整備計画』を策定した。2020年時点で、市全体で25.613kmの自転車走行空間の整備が完了している。

(2) 疑似走行実験の概要

調査路線として、船橋市内の自転車専用通行帯（以下、専用通行帯）、自転車レーン（法定外）、矢羽根・ピクト表示、整備なしの計4路線を選定し、360度カメラによる動画撮影を行った。

続いて、実験室内で疑似走行実験を行った。実験概要は以下の通りである。

調査日：2021年12月3日から12月15日

被験者：20代の学生41名（男性34名、女性7名）

(3) 実験結果

専用道路、自転車レーン、矢羽根・ピクト表示、整備なし路線の疑似走行実験結果と(2)式に基づく安心度の平均値、アンケートでの評価の平均値を比較した結果を表-1に示す。

表-1 走行実験とアンケートでの安心度の比較

整備形態	走行実験	アンケート
専用通行帯	0.494	4.12
自転車レーン	0.411	3.49
矢羽根・ピクト表示	0.376	3.20
整備なし	0.311	2.15

疑似走行実験データに基づく安心度は「専用道路」が0.494で一番高く、次いで「自転車レーン」で0.411、「矢羽根・ピクト表示」が0.376、「整備なし」が0.311となった。実験後のアンケートでの評価でも同様の傾向となっており、VRゴーグルと心拍計を用いた疑似走行実験のデータと(2)式による安心度評価の妥当性が確認できる。

(4) 重回帰モデルを用いた分析

各個人の安心度、個人ダミー、各路線の道路特性データを用いて(3)式の推定を行った。道路特性を示す変数の候補は車道部幅員、自転車走行空間の幅員、個人ダミー、自転車専用通行帯ダミーとし、有意水準5%で非有意な変数を除いて推定を繰り返す減少法により変数の確定及び推定を行った。推定結果を表-2に示す。

符号が負の係数は安心度を下げる要因で、正の係数は安心度を上げる要因であることを示している。

表-2 重回帰分析の結果

変数	係数	t 値	P 値	判定
定数項	0.3413	17.3820	$P < 0.001$	**
自転車走行空間幅員(m)	0.0665	3.7155	$P < 0.001$	**
個人ダミー-1	-0.1725	-7.3068	$P < 0.001$	**
個人ダミー-2	0.0997	2.6572	0.0087	**
自転車専用通行帯ダミー	0.0835	3.2992	0.0012	**

個人ダミー-1,2は安心度の平均がそれぞれ0.3未満・0.6以上の人 **：1%有意

自転車専用通行帯の有無、自転車走行空間の幅員は安心度を上げる要因として強く働いており、おおよそ客観的イメージに合った結果となった。

5. まとめ

本研究では、自転車走行空間を客観的に評価するための手法として、360度カメラによる動画撮影を行った上で、多くの被験者に対して容易に実施可能な心拍計とVRゴーグルを用いた疑似走行実験の方法を提案した。また、実験結果のデータを用い、CHM、LP法から算出される安心度を自転車専用通行帯の有無、道路特性、個人ダミーで説明する評価モデルを構築し、船橋市内の自転車走行空間の走行時の安心度の評価を行った。

評価の結果から、専用通行帯の整備や走行空間の拡幅により安心度を向上させることが確認できた。

今後の課題として、あらゆる年齢層や時間帯別に比較を行うこと、様々な道路特性を考慮して検証していくことが挙げられる。

参考文献

- 1) 三輪富生、中井陽平、寺澤匡史、森川高行、山本俊行(2011):名古屋市内における自転車走行空間整備の評価に関する研究、土木計画学研究・講演集(CD-ROM)、Vol.43、379
- 2) 渋谷大地、金利昭(2012):自転車走行空間に係わる三つの評価手法適用性に関する研究—BCC・満足度評価・ストレス計測手法の比較—、土木計画学研究・講演集、Vol.45(CD-ROM)、309
- 3) 鈴木清、砂川尊範、新田保次(2012):心拍変動による自転車走行空間の安全性・快適性評価手法に関する研究、福祉のまちづくり研究、Vol.14、No.2、pp.A1-A8
- 4) 幅岸拓斗、樋口菜々美、佐藤徹治(2021):千葉市内における自転車走行空間整備が快適度に及ぼす影響分析、土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集(CD-ROM)、Vol.48、No.4、IV-43
- 5) 船橋市ホームページ
(<https://www.city.funabashi.lg.jp/machi/douro/002/p051854.html>)