

千葉市における心拍変動を用いた自転車走行空間の快適度の評価

Evaluation of comfort of bicycle running space based on heart rate variability in Chiba City

佐藤徹治研究室 17B2107 幅岸 拓斗
17B2112 樋口菜々美

1. はじめに

自転車は子供からお年寄りまで、気軽かつ便利に使える交通手段である。環境問題の観点等から注目が集まり、自転車保有台数は自動車保有台数とほぼ同程度(2013)であり、重要な交通手段となっている。また、近年では宅配サービスや、レンタサイクリングの設置などで自転車のニーズや用途が更に拡大している。

拡大する自転車ニーズに対応し、「安全で快適な自転車利用空間」の整備はあらゆる都市での課題となっている。2012年に作成された安全で快適な自転車利用環境創出ガイドラインや改正した道路構造令に基づき、全国の自治体で自転車利用空間の整備が進められている。今後も整備箇所・地域は増えていくと考え、早急かつ効果的に整備していくことが必要である。

自転車走行空間整備の影響分析に関する既往研究として、坂ら(2010)¹⁾は宇都宮市における自転車事故データから自転車レーン整備前後で事故の特徴を分析している。鈴木ら(2012)²⁾はホルター心電計を使用し得られた心拍データから走行空間の整備形態別、安全性・走行快適性の推定を行っている。しかし、この研究では車道幅員や自転車走行空間幅員、自転車走行空間の有無等の道路特性および個人特性が考慮されていない。そこで本研究では、千葉市内の自転車走行空間の実態を把握するとともに、心拍計を用いた走行実験を行い、道路特性、個人特性を考慮した自転車走行空間における快適度の評価を行う。

2. 千葉市の自転車走行空間と自転車事故の現状

2.1 自転車走行空間整備について

千葉市は、「千葉市自転車を活用したまちづくり推進計画」を策定するなど歩行者の安全を守り、自転車が安全で快適に車道を通行できる自転車走行空間整備を進めており、2019年時点で43線、約6.4kmの自転車走行空間整備が行われている。表-1に市内各区の自転車走行空間の整備状況、自転車分担率を示す。

表-1 千葉市の自転車走行空間整備状況と自転車分担率

位置	中央区	花見川区	稲毛区	美浜区	緑区	若葉区	そのほか	市全体
数	7	3	5	9	8	5	6	43
専用	4	3	3	4	2	2		
混合	3	0	1	5	6	3		
延長(m)	6,000	2,100	6,200	6,300	10,800	8,000	24,400	63,800
自転車分担率	12%	12%	14%	13%	5%	9%	-	11%

※自転車分担率は2010年度

2.2 自転車事故について

市内各区の自転車走行空間整備区間における2019～2020年の自転車事故件数を表-2に示す。自転車分担率の高い中央区、花見川区、美浜区では自転車走行空間1km当たりの事故件数も市全体の数値より高い値となっている。

表-2 千葉市自転車走行空間における自転車事故件数

位置	中央区	花見川区	稲毛区	美浜区	緑区	若葉区	市全体
事故件数	25	9	15	19	22	15	105
事故率(件/km)	4.2	4.3	2.4	3.0	2.0	1.9	2.7

※サイクリングロード・歩道活用路線を除く

3. 自転車走行中の快適度の評価方法

自転車走行中の快適性を評価する指標として、鈴木ら(2012)²⁾は心拍間隔(RRi)を用いたCHMを提案している。CHMとは瞬時の心理負担の変動を表現するRRiのばらつきをLP(Lorenz Plot)により解析し、快適性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、椅子に座り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。この逆数を快適度と呼び、次式により求める。

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

$R_{i,k}$: 個人の路線毎の快適度

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

砂川ら(2013)³⁾は自転車の車道走行時にかかる心理負担を予測する手法として、すれ違い台数(台・人/km)や走行速度(km/h)、自動車駐停車両台数(台/km)、自転車走行幅員(m)、信号交差点率(機/km)などを説明変数とし、快適度を求める重回帰モデルを提案している。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

れる快適度に影響を及ぼすと考えられる車道部幅員、車線数などの道路特性、個人ダミーを説明変数とする快適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_k : 個人ダミー D_c : 自転車専用通行帯ダミー x_n : n 番目の道路特性

4. 千葉市内の自転車走行空間の評価

4.1 走行実験の概要

千葉市内の自転車走行空間別の快適度のデータ収集のため、市内の複数の路線を対象に走行実験を行った。実験概要は以下の通りである。

調査日：2020年11月11日から12月8日

被験者：20代の学生14名（男13名、女子1名）

調査路線としては、自転車専用通行帯の路線が3路線、車道混合型が3路線、未整備路線が2路線の計8路線を選定した。心拍計には「PolarH10 心拍センサー」を用いた。

実験では、各被験者胸部に心拍計、自転車のハンドルにスマートフォンを取り付け、対象路線を走行して頂いた。また実験終了後、各路線の快適性等を5段階（快適に感じた：5、やや快適に感じた：4、どちらともいえない：3、やや不快に感じた：2、不快に感じた：1）で評価するアンケートに回答してもらった。

4.2 実験結果

自転車専用通行帯、車道混合通行帯、整備なし路線の実験結果と(2)式に基づく快適度の平均値、アンケートでの評価の平均値を比較した結果を表-3に示す。

表-3 快適度とアンケートでの評価の比較

整備形態	自転車専用通行帯	車道混合通行帯	整備なし
快適度（平均値）	0.36	0.30	0.29
アンケートでの評価（平均値）	3.83	3.21	3.11

快適度は「自転車専用通行帯」が0.36で一番高く、次いで「車道混合通行帯」で0.30、「整備なし」が0.29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、自転車走行空間の整備は走行時の快適度を向上させること、車道混合通行帯よりも自転車専用通行帯の方が快適度が高いことが示唆される。

4.3 重回帰モデルを用いた分析

各個人の快適度、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は追い抜き回数、追い越し回数、信号停止回数、通過した交差点の数、加減速回数、車道部幅員、車線数、自転車道幅員、個人ダミー、自転車専用通行帯ダミー、車道混合通行帯ダミーとし、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-4に示す。符号が-の係数は快適度を下げる要

因で、+の係数は快適度を上げる要因であることを示している。

車道部の幅員、交差点の数、加減速回数が快適度を下げる要因として強く働いている一方で、車線数、自転車専用通行帯の有無は快適度を上げる要因として強く働いており、おおそ客観的イメージに合った結果となった。車道部幅員は広くなるにつれ走行する車両の速度が高くなる傾向にあるため、被験者の心理負担が向上し、負の値となったと考えられる。

表-4 重回帰分析の結果

変数	係数	t 値	P 値	判定
定数項	0.7082	4.1289	0.0001	**
個人ダミー1	-0.1710	-4.5367	0.0000	**
個人ダミー2	0.3953	5.8837	0.0000	**
自転車専用通行帯ダミー	0.1144	2.9940	0.0036	**
交差点の数	-0.0106	-2.4295	0.0173	*
加減速回数	-0.0041	-2.1814	0.0320	*
車道部幅員(m)	-0.1032	-2.2372	0.0280	*
車線数	0.1832	2.1594	0.0337	*

個人ダミー1・2は快適度の平均がそれぞれ、0.2未満・0.7以上の人 **：1%有意 *：5%有意

5. おわりに

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、心拍計を用いた走行実験結果、CHM、LP法から算出される快適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、千葉市内の自転車走行空間が快適度に及ぼす影響を検証した。

検証の結果、自転車専用通行帯の整備により快適度を向上させることが示唆された。一方で自転車道や歩道走行時の効果、他地域での適用可能性については本研究では推計できなかった。

今後の課題として、データのサンプル数を増やしあらゆる年齢層や時間帯別に比較を行うこと、市街地と住宅街などの見通しの違いなど多様な通行環境を考慮して検証していくことが挙げられる。

参考文献

- 1) 坂尚哉, 森本章倫 (2010) : 自転車事故の実態把握による自転車レーンの有効性に関する研究, 第37回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集 IV-11
- 2) 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
- 3) 砂川尊範, 鈴木清, 竹林弘晃, 土井健司 (2013) : 心拍変動による自転車車道走行の快適性評価モデルに関する考察, 土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), Vol. 48, 232
- 4) 千葉市ホームページ : (2021年1月13日閲覧)
- 5) 千葉県警ホームページ : (2021年1月13日閲覧)