

# 心拍数変動を用いた電動アシスト自転車と 電動キックボードの走行快適性に関する研究

## Research on riding comfort of electric assist bicycles and electric kickboards using heart rate fluctuations

20D3101007G 山口 颯斗 (交通まちづくり研究室)  
Hayato YAMAGUCHI / Mobility Planning Lab.

**Key Words :** electric scooter, electric assist bicycle, heart rate variability

### 1. 研究の背景

現在Luupなどのシェアリングサービスが普及している。コロナ禍により三密を避ける交通手段として注目され利用者が増加しているが、同時に、事故も増加している。この事故の増加を防ぐために、安全で快適に利用できる環境整備が必要である。都内では、すでに、自転車の走行空間として自転車ナビマーク、自転車専用通行帯の整備を急速に行っている<sup>1)</sup>が、現状としてそれらの道路上に路上駐車が多くあり本来の機能を発揮できていない問題がある。

### 2. 研究の位置付け

#### (1) 既往研究の整理

ストレス分析を用いた走行快適性の研究としては、自転車を利用しRRI (RRIとは、心拍間隔のことであり心電図に現れるR波とR波の間隔を指す) を用いたストレス分析についての研究<sup>2)</sup>はあるが、走行道路として、都内で整備された道路での調査は行っていない。また、RRI変動を用いた分析手法の考察を行った研究<sup>34)</sup>はあるが、腕時計型心拍計を用いた光学式心拍数計測による心拍数変動を用いた分析手法の考察を行っているものは少ない。RRIを計測できる機器は得られなかったため、本研究では腕時計型心拍計を用いる。

#### (2) 本研究の目的

Luupの電動アシスト自転車、電動キックボードを用いて光学式心拍数計測により、ストレス負荷時の心拍数変動について分析し、①路上駐車と歩行者、自転車、自動車の相互作用などのストレス要因の影響を心拍数の変化から明らかにする。②走行経路の独立性の影響を心拍数の変化により明らかにすることを目的とする。

### 3. 心拍数変動を用いた分析方法について

#### (1) 対象経路について

電動アシスト自転車…文京区の自転車専用通行帯、自転車歩行者道、車道 (ナビマーク無し)、自転車ナビマーク道路と亀戸の自転車道 (理想的な道路) の合計5か所で調査を行う。

電動キックボード…上記の内自転車歩行者道は最高

時速6km/hの歩道モードが設定できるものでは走行できるが、一般的に車道を走行する乗り物であるのでそこを除いた合計4か所で調査を行う。図-1、図-2が実際に調査を行った道路である。

#### (2) 分析方法について

POLAR社の心拍計の光学式心拍数計測を用いて、それぞれの道路での心拍数を測定する。その際に心拍数の値がどのような影響を受けて変化したのかを知るために、ビデオを撮影し、変化したタイミングで発生した事象を把握する。路上駐車や歩行者の影響、自転車の影響、自動車の影響を受けてストレスと感じ心拍数が増加すると考える。得られた心拍数のデータから心拍数変動、心拍数中央値、心拍数分散、心拍数平均値について理想的な道路と比較し、分析手法の可能性を検討する。それにより走行経路の独立性の影響を明らかにする。



図-1 対象経路1



図-2 対象経路2

表-1 被験者情報と調査日

日時	被験者	性別	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	天気	気温(°C)
1月28日	A	男	22	174	62	晴れ	9
1月30日	B	男	20	176	63	晴れ	13
1月31日	C	男	22	162	62	晴れ	13

#### 4. 調査について

大学生3人を対象とし、Luupの電動アシスト自転車と電動キックボードを用いてそれぞれの経路で走行調査を行った。各経路で約6分~10分走行し、1回ずつ合計27回調査を行った。注意点としては電動アシスト自転車では漕ぐことによる身体的負担により心拍数が変化すると考えられるのでできるだけ同じ速度(約11km/h~13km/h)で走行することを指示して調査を行った。また、全ての被験者が電動キックボードに乗車するのが初めてだったため、十分な慣れ走行を行った後、調査を実施した。(表-1)

#### 5. 分析結果

##### (1) 心拍数変動

##### a) 心拍数変動結果

RRI変動を用いた研究<sup>9)</sup>では、他の自転車や歩行者の影響を受け、RRIが減少し、それらがストレスを与えているとしていた。心拍数変動ではそれらをストレスと捉え心拍数が増加すると仮定する。調査結果の一例を図-3から図-6に示す。

##### b) 経路別の発生事象回数と心拍数変化

電動アシスト自転車乗車時の各経路での発生事象の回数とその影響を受けた回数を表-2に示した。ここでの影響とは、発生した事象で心拍数の増加が見られた場合とした。仮定では、路上駐車や歩行者の影響をストレス負荷時と捉え、心拍数が増加すると考えたが、それらの箇所全てで増加することは確認できなかった。自転車道では歩行者や路上駐車の影響を受けないので

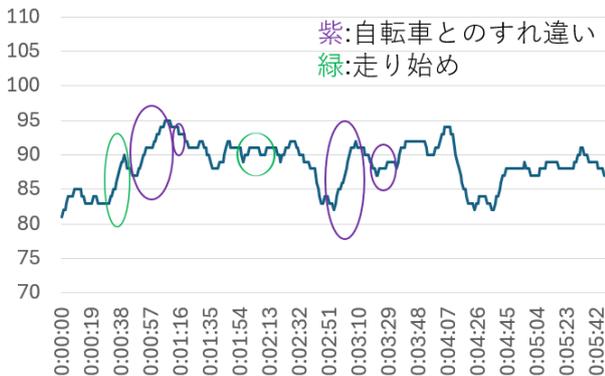


図-3 電動アシスト自転車自転車道被験者A  
(縦軸:心拍数 横軸:経過時間)



図-4 電動アシスト自転車自転車歩行者道被験者C

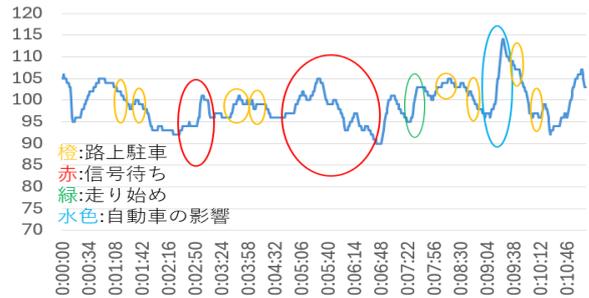


図-5 電動キックボード自転車専用通行帯被験者B

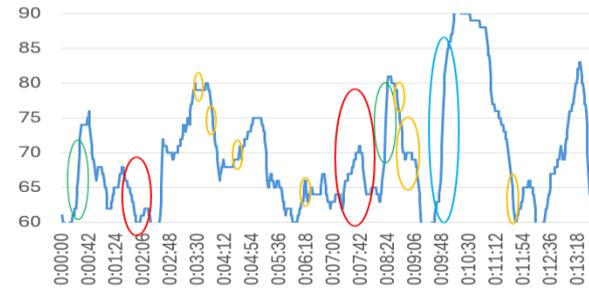


図-6 電動キックボード自転車ナビマーク被験者C

表-2 電動アシスト自転車乗車時の各経路での発生事象回数と影響を受けた回数

被験者	路上駐車	歩行者	自転車	路上駐車の影響	歩行者の影響	自転車の影響
被験者A						
自転車道			6			4 (66.7%)
自転車専用通行帯	11		15 (45.4%)			0
自転車ナビマーク	1		1		0	1 (100%)
自転車歩行者道		45	7		20 (44.4%)	3 (42.9%)
車道(ナビマーク無し)	14		27 (50%)			1 (50%)
被験者B						
自転車道			3			3 (100%)
自転車専用通行帯	15		28 (53.3%)			0
自転車ナビマーク	11		15 (45.5%)			1 (100%)
自転車歩行者道		63	5		28 (44.4%)	3 (60%)
車道(ナビマーク無し)	41		121 (51.2%)			0
被験者C						
自転車道			6			4 (66.7%)
自転車専用通行帯	11		15 (45.5%)			1 (100%)
自転車ナビマーク	13		29 (69.2%)			1 (50%)
自転車歩行者道		68	0		31 (45.6%)	0
車道(ナビマーク無し)	40		121 (52.5%)			0

表-3 数値の考え方

分析方法	考え方 (仮定)
心拍数中央値	数値増加＝ストレス
心拍数平均値	数値増加＝ストレス
心拍数分散	数値増加＝ストレス

自転車利用者にとって理想的な道路であると考えたが、実際には、対向車線からの自転車とのすれ違いがあり、すれ違うには狭い空間であり、その際に心拍数の増加が見られた。被験者Aでは、66.7%、被験者Bでは100%、被験者Cでは66.7%と高い反応率を示した。

一例として自転車道を走行した時の心拍数の変化(図-3)では、44秒~55秒に2台、2分51秒~3分に3台、自転車とのすれ違いがあり心拍数の増加が確認できた。また、35秒からの増加は走り始めが影響していることが確認できた。1分20秒に自転車とのすれ違いがあったがこの箇所では変化が見られなかった。ここではすれ違いが1台だけだったため変化が見られなかった可能性があると考えられる。

被験者3人共に路上駐車や歩行者、自転車のすれ違いにより心拍数の増加が見られた場合もあったが、見られない場合もある結果となった。歩行者では、横並びに広がっている時や、連続した歩行者を避けた時に心拍数の増加が見られた。また、自動車との距離が近くなった時に心拍数の増加が確認できた。自転車道は、自転車利用者にとって快適な理想的な道路であると考えていたが、実際には、対向自転車のすれ違いにより心拍数の増加が見られ、ストレス要因として特定した。走り始めは心拍数が増加する傾向にあることが分かった。

## (2) 道路形態別の比較

歩行者や自動車の影響を受けない自転車道を理想的な道路と考え分析しようとしていたが、対向自転車のすれ違いがあり難しいと判断したため幅員の違いの影響が出ているかの検討を行う。三指標について、数値が大きいほどストレスを感じていると考える(表-3)。また、それぞれの経路で計測したデータの内、信号待ちの影響、走り始めの影響で心拍数の増減が大きく見られたので、それらの影響を受けない連続した2分間のデータを用いた。それらの影響を除いた2分間のデータを得る際に、2分間路上駐車が1台もない経路もあったが、路上駐車のある経路もあった。路上駐車による影響を大きく受けた箇所のデータは使用せず、影響の小さい、ほとんど受けていない箇所連続する2分間のデータを用いて分析を行った。それぞれの道路の幅は表-4に示す通りである。幅員が広いほうがストレスが少なく快適であると考え、自転車専用通行帯、自転車ナビ

マーク、車道(ナビマーク無し)の順に快適である結果になると仮定する。

### a) 対象データの選別

被験者Cの結果から(表-5)、全体的に、電動キックボード乗車時よりも、電動アシスト自転車乗車時の数値の方が大きくなっている。これは自転車を漕ぐことによる負担が影響していると言える。漕ぐことでの影響は少なからずあるので、道路形態の違いを調査する際には、電動キックボード走行時の計測データを使用する。(表-5、表-6)

表-4 道路形態別の幅員

幅(m)	路肩	道路の幅	合計
自転車道	0m	2.0m	2.0m
自転車専用通行帯	0.2m	1.2m	1.4m
自転車ナビマーク	0.5m	0.40m	0.90m
車道(ナビマーク無し)	0.5m	0m	0.5m

表-5 被験者C結果

電動キックボード	中央値	平均値	分散値
自転車道	67	67.58	11.6918
自転車専用通行帯	66	65.92	14.0868
自転車ナビマーク	68	68.47	17.0582
車道(ナビマーク無し)	62	63.05	21.4765
電動アシスト自転車	中央値	平均値	分散値
自転車道	72	72.92	15.0111
自転車専用通行帯	78	77.73	14.2308
自転車ナビマーク	75	74.78	4.3271
自転車歩行者道	64.5	65.47	20.251
車道(ナビマーク無し)	68	68.63	31.5451

表-6 被験者A結果

電動キックボード	中央値	平均値	分散値
自転車道	90	91.18	20.235
自転車専用通行帯	84	83.47	2.68796
自転車ナビマーク	86.5	87.48	15.9493
車道(ナビマーク無し)	83	82.64	6.73606
電動アシスト自転車	中央値	平均値	分散値
自転車道	90	89.2	8.32941
自転車専用通行帯	93	92.44	7.76128
自転車ナビマーク	88	88.56	8.76968
自転車歩行者道	91	91.08	9.21282
車道(ナビマーク無し)	85	84.9	5.90588

表-7 被験者B結果

電動キックボード	中央値	平均値	分散値
自転車道	101	101.66	30.1596
自転車専用通行帯	103	103.19	19.4335
自転車ナビマーク	96	94.52	21.6972
車道(ナビマーク無し)	95	94.89	2.53438
電動アシスト自転車	中央値	平均値	分散値
自転車道	94	94.26	7.45371
自転車専用通行帯	95.5	96.82	8.2014
自転車ナビマーク	92	91.75	19.2983
自転車歩行者道	91	91.49	4.9243
車道(ナビマーク無し)	92	92.72	5.73417

## b) 分析まとめ

幅員の広い自転車専用通行帯→自転車ナビマーク→車道(ナビマーク)の順に快適であると仮定し分析を行った。中央値、平均値、分散値は自転車専用通行帯<自転車ナビマーク<車道(ナビマーク無し)の順に示すと考えたが、このような結果となったのは、被験者Cの分散値だけという結果となり、それぞれの数値が分析手法として扱える可能性があることを示すことはできない結果となった。(表-5、表-6、表-7)幅員の違いの影響が出ているかを示すことができなかった。このような結果になってしまったのは、路上駐車による影響や、走り始めの影響をできるだけ除いて分析を行ったが、それらの影響を少しでも受けてしまった点や、自動車の追い越しなどの交通量の条件や、追い越された速度の影響を制限し、条件を合わせることができなかったことなどが要因として考えられる。

## 6. まとめ

### (1) 結論

本研究では、電動アシスト自転車、電動キックボードを用いて、光学式心拍数計測により、①路上駐車と歩行者、自転車、自動車の相互作用などのストレス要因の影響を心拍数の変化から明らかにする。②走行経路の独立性の影響を心拍数の変化により明らかにすることを目的とし、検討を行った。②については代表的な値を分析することで数値として示すこととした。

心拍数変動では、自動車との距離が近い時や、かなり接近した状態での追い越しなどの自動車の影響により心拍数が増加することや、自転車道での対向自転車のすれ違いによる増加がある程度確認できたので、今回の計測方法に基づく心拍数変化によってストレス要因の影響をある程度は把握できると言える。

幅員の広い順に快適であると仮定して、走り始めや信号待ちのデータを除きできるだけ条件を合わせて分

析を行ったが、異なる結果となり分析手法として扱える可能性を示すことはできなかった。中央値、平均値、分散値による分析は、ストレス分析手法として扱える可能性を得られず、走行経路の独立性の影響を数値として示すことができなかった。このような結果となってしまった原因としては、できるだけ条件を合わせるようにしたが路上駐車などの影響を少しでも受けてしまった点、自動車の追い越し、速度などの交通量による影響を合わせることができなかった点であると言える。

また、今回の計測では、それぞれ1回ずつ調査を行っているが、より精度の高いデータを得るために複数回調査を実施する必要があると言える。今回の対象経路では、径路ごとに路上駐車の回数が大きく異なったため、整備された道路空間による違いを得るためには、それらの数をできるだけ合わせ、長い距離の走行データを得る必要があると言える。

### (2) 今後の課題

本研究では、光学式心拍数計測を用いて調査を行った。仮定した結果とは異なる結果となったため、より細かく分析を行うためにRRI変動を計測できる機器で調査を行うことが必要であると考えられる。RRI変動を用いたストレス分析手法については先行研究より可能性が示されているので、整備された都内の道路でそれらを用いて分析を行うことを今後の課題とする。

また、被験者の人数や、調査回数を増やし、より多くのデータにより分析を行うこと。道路条件の違いによる変化を分析するために、より良い適切な対象経路を設定し、調査を行うことを今後の課題とする。

### 参考文献

- 1) 東京都自転車通行空間整備推進計画  
<https://www.kensetsu.metro.tokyo.lg.jp/content/000052545.pdf>
- 2) 鈴木清,松田和香,竹林弘晃,砂川尊範,新田保次: 自転車走行時の心理的負担に着目した自転車走行空間の比較評価～高松における「心電図トランスミッタ」を活用した調査を通して～, 土木計画学研究発表会・講演集,Vol41(366),2010.
- 3) 渡辺和憲,金利昭: 心拍変動を用いた自転車利用者のストレス分析手法に関する考察土木計画学研究・講演集,2011
- 4) 佐田理,森信彰,松本佳昭,正江鐘偉: 心拍変動による精神ストレス解析についての考察,日本機械学会年次大会講演論文集,pp.203-204,2008.
- 5) 渡辺和憲,金利昭. 心拍間隔指標を用いた自転車走行空間のストレス計測手法に関する基礎的研究. 土木計画学研究・講演集(CD-ROM), 2010, 42: 213.