

第Ⅳ部門 生体反応を用いた自転車利用環境のストレス計測に関する実験的研究

大阪市立大学 学生員 ○立野 勝真
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 吉田 長裕

1. 研究の背景と目的

近年、環境負荷の低い交通手段として自転車の利用ニーズが高まっている。一方、自転車通行空間に関しては、歩道や車道上に他の交通モードと通行空間を分離または共有した様々なタイプのものが存在しており、求められるスキルや自転車の利用率も異なっている状況にある。このような自転車の利用状況には、利用者の評価が影響すると考えられるため、今後の望ましい通行空間を検討する際には、客観的な利用環境評価に基づくことが重要である。

既往研究では、自転車利用時のストレスの要因を、主に発汗や心拍間隔などの生体反応指標を用いて解析している事例¹⁾や、自転車利用時ではないが筋電を用いた事例²⁾がある。しかしながら、自転車通行空間に着目し、自転車利用時のタスクの程度とそのストレス反応を総合的に評価して事例はほとんどなく、これらを用いることで、利用環境を客観的かつ定量的に比較可能になることが期待できる。

そこで本研究では、利用環境に関わるストレス要因と反応の関係を計測する手法について、基礎的な知見を得るために、運転タスクとストレス要因の異なる複数の通行空間において、心拍間隔、筋電、電気皮膚反応の3つの生体反応を計測し、それらの違いを比較することで、利用環境の評価が可能か実験的に検討することとした。

2. 研究方法

2.1 走行実験の概要

電極取り付け位置の比較検討と、運転タスクに対して生体反応指標がそれぞれどのような反応をするのかを調べるために走行実験を行った。被験者は、自転車運転経験の異なる男子学生5名（経験別人数）で、実験コースは、被験者に要求するタスクを単純／複雑（実道路）の2つに分けることとした。単純な運転タスク処理を要求する実験コースは、幅50cmの直線8m、幅15cmの一本橋2m、15km/hで20m走行した直後に急制動、間隔1.5mのスラローム9m、10cmの段差降り、右折、左折から構成されるもので、大阪市立大学内に設定した。一方、複雑な運転タスク処理を要

求する実験コースは、実際の道路上にある自転車道と自転車歩行者道から構成されるもので、大阪府堺市に設定した。学内における走行実験は2018年1月16日に、路上での走行実験は2018年1月25日に実施した。

2.2 生体反応センサーの概要と設置方法

一般的に、自律神経は交感神経と副交感神経で構成されており、主に緊張している時やストレスを感じている時に交感神経が働くため、交感神経の働きによって生じる生体反応をセンサーで計測する。ストレスに対する各センサーの反応原理として、筋電は、筋肉で発生する微弱な電位差の変化を検出したもので、ストレス反応時に筋電の振幅変動が通常より大きくなる。ECGセンサーで得られる心拍間隔は、心電図に現れるR波とR波の間隔のことであり、ストレス反応時には心拍間隔が通常よりも狭まる。電気皮膚反応については、強い刺激や精神活動に伴う、発汗などによる皮膚に一時的に生じる電気抵抗を計測したものであり、ストレス反応時には数値が上昇する。これらのセンサーを活用し、自転車で走行した時の被験者のRRI（心拍間隔）、EMG（筋電）、GSR（電気皮膚反応）を、S&ME社の各電極を用いて計測した。心拍ECGセンサーの電極を胸部に、発汗GSRセンサーの電極を人差し指と薬指の指先に取り付けた。なお、筋電EMGセンサーの電極取り付け位置については、運動による反応とストレス反応との区別が付きやすい場所を、実験により決定することとした。

2.3 分析方法

本研究では、ストレスに関わる運転経験差、自転車利用環境に求められる運転タスクの複雑さを明示的に考慮できるように、個人差については運転経験、運転タスクの複雑性については走行コースとして具体化し、これらの組み合わせによって生体反応の違いを比較することとした。なお、主観的な評価との関係を見るために、走行実験後に知覚したストレス要因についてアンケート調査を行った。

3. 単純コース走行時の生体反応特性

走行コース内の各障害物における生体反応の反応特性を

表1 各障害物に対する生体反応特性

	一時的なストレス		連続的なストレス		
	急制動	段差降り	スラローム	幅の狭い道	一本橋
心拍間隔(RRI)	加速からブレーキ直後にかけて徐々に反応	反応なし	走行中常時反応	反応が薄い	徐々に反応
電気皮膚反応(GSR)	ブレーキ直前とブレーキ時に瞬間的に反応	反応なし	ハンドル操作に応じて瞬間的に反応	通った直後に反応	アクシデント直後に反応一定期間継続
筋電図(EMG)	直前から反応 ブレーキ直後反応なし	降る瞬間に反応	ハンドル操作に応じて瞬間的に反応	瞬間的に反応	瞬間的に反応

Katsumasa TATSUNO, Nagahiro YOSHIDA
 ktatsuno930@gmail.com

比較したところ（表1、図1）、ほぼすべての被験者において、幅の狭い道や一本橋など運転負荷が継続するような状況において、RRIとGSRでは瞬間的な反応でなく、徐々に反応し、一定時間継続するといった反応がみられた。また、一本橋走行中におけるバランスを崩した際のふらつきやスラローム、右折、左折、障害物を避けたりなどのハンドル操作に応じてGSRやEMGは瞬間的に反応するといった傾向がみられた。手信号や左右確認などの動作に対しては、生体反応はみられなかった。

個人差について、通学など普段の自転車の使用頻度による生体反応の変化を比較したところ、通学で自転車を使用していない学生の方が、RRIは反応時における減少や上昇の傾きが大きく、GSRでは反応時の数値の変動幅が大きいという傾向がみられた。EMGにおいては、自転車使用頻度による反応の違いはみられなかった。また、使用頻度が同じ学生においても、RRIやGSRにおいて数値が変動した後、通常値まで戻る時間に大きな違いがみられた。

4. 本実験による自転車利用環境の評価

4.1 プレ実験との比較による運転タスクの複雑性の比較

プレ実験における右折時の生体反応と本実験における歩道駐車を避けて通行した場合の生体反応を平均値と分散、最大値（EMGのみ）を比較した結果（表2）、被験者の大半においてプレ実験と比べて本実験の方がどの生体反応においても平均値と分散、EMGでは最大値も上回った結果となったため、路上での走行のようにタスクが複雑になる

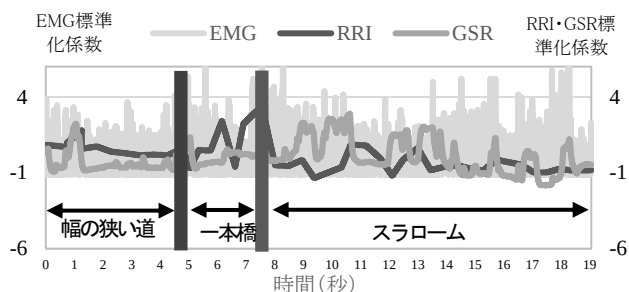


図1 生体反応標準化係数

表3 ストレス要因別被験者反応率

反応率 (%)	自歩道			視覚分離自歩道			自転車道	
	車両流 出入	歩道 駐車	横断 待ち	対向自 転車	幅の狭 い道路	混雑 錯綜	対向自 転車	カーブ
RRI	60	80	80	40	100	80	60	80
EMG	80	80	20	60	60	60	80	80
GSR	80	80	80	100	40	40	100	80

表2 運転タスク別生体反応比較

被験者 No.	RRI				EMG						GSR			
	歩道駐車		右折(プレ)		歩道駐車		右折(プレ)				歩道駐車		右折(プレ)	
	平均	分散	平均	分散	平均	分散	最大値	平均	分散	最大値	平均	分散	平均	分散
1(通学未使用)	620.0	13990.44	661.2	160.14	0.02320	0.00059	0.36435	0.00488	0.00003	0.06975	7.632	0.036	8.717	0.172
4(通学未使用)	558.7	4162.67	482.8	72.47	0.03139	0.00067	0.17125	0.00606	0.00002	0.03489	11.283	0.748	1.542	1.394
2(通学使用)	729.1	18222.77	862.7	1974.22	0.00921	0.00006	0.05922	0.00416	0.00001	0.02558	5.356	0.052	6.184	0.036
3(通学使用)	595.9	5718.54	492.0	94.67	0.02353	0.00022	0.09029	0.00600	0.00002	0.03135	11.574	3.069	1.844	0.427
5(通学使用)	507.2	2593.51	704.0	1261.33	0.00832	0.00005	0.11178	0.00594	0.00002	0.02857	5.256	5.904	1.001	0.054
計	3012.9	44687.93	3302.7	3562.83	0.09566	0.00158	0.79689	0.02703	0.00011	0.19014	41.101	9.809	18.289	2.084

につれて、生体反応は大きくなることが分かった。

4.2 コース内の利用環境の比較

コース内の自転車通行帯におけるストレス要因に対する反応の平均値、分散、最大値を通常走行時と比較し、被験者5人における反応率を求めた結果（表3）、自歩道では、歩道駐車に対して被験者のうち80%が3つの生体反応によってストレスが生じていると判断できる。視覚分離自歩道では、幅の狭い道路に対するRRIの反応率と対向の自転車に対するGSRの反応率が100%であった。また、自転車道では、対向の自転車に対するGSRの反応率が100%であり、カーブ走行時に対する反応率はどの生体反応も80%であるため、これらの要因を用いたそれぞれの通行帯における評価が可能であると考えられる。

4.3 主観的評価との比較

コース内のストレス要因に対する生体反応とアンケート調査による被験者の主観的評価を比較した結果、EMGとGSRにおいて反応率が高い、対向の自転車に対する主観的評価は、5段階評価において平均が4.2であり、ややストレスを感じているという評価であるため、評価に大きな差はみられなかった。

5. 研究のまとめと今後の展開

本実験の結果から、RRIとGSRでは、運転負荷が継続するような状況において徐々に反応し、一定時間継続するといった反応がみられ、EMGでは、ハンドル操作に応じて瞬間的に反応するといった傾向がみられた。また、路上実験において、自歩道では、歩道駐車や幅の狭い道路など、運転負荷が継続するような状況下でのRRIの反応や、自転車道や視覚分離自歩道では、対向の自転車とのすれ違いやカーブ走行など、ハンドル操作に起因するEMGの瞬間的な反応とGSRの漸次的な反応といった、運転タスクによる生体反応の変動からそれぞれの走行空間の評価が可能であることが分かった。

今後の展開として、自転車レーンなどの他の自転車通行帯においても同様に生体反応を計測し、通行帯におけるそれぞれの生体反応の反応傾向を分析する必要がある。

<参考文献>

- 1) 渋谷大地・金利昭: ストレス計測手法を用いた歩行者・自転車・自動車混在時の走行環境評価に関する研究, 土木計画学講演集, Vol. 48, No. 234, 2013.
- 2) 竹田壽子: ミン拘束の身体映像—ミン拘束が患者に与えるストレスに関する生理心理学的研究—, 共創福祉第9巻第2号19-32, 2014