

# 運転経験による自転車通行空間における 生体反応への影響要因分析

立野 勝真<sup>1</sup>・吉田 長裕<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 大阪市立大学大学院 工学研究科都市系専攻 (〒558-8585 大阪市住吉区 3-3-138)

E-mail:m18td025@jf.osaka-cu.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 大阪市立大学大学院准教授 工学研究科都市系専攻 (〒558-8585 大阪市住吉区 3-3-138)

E-mail:yoshida@eng.osaka-cu.ac.jp

近年、歩道や車道上を他の交通モードと分離または共有した様々なタイプの自転車通行環境が存在しているが、自転車の利用状況に関わる要因である利用者の反応と通行環境、利用者自身の能力との相互関係を適切なレベルで捉えた研究事例はほとんど存在しない。そこで本研究では、自転車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、生体反応を計測し、運転経験の差による利用者の反応への影響要因について分析をおこなった。

**Key Words :** *bicycle, stree, vital reaction, RRI, EMG, GSR, driving experience*

## 1. 研究背景と目的

近年、自転車通行空間に関して、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<sup>1)</sup>、利用空間と利用者との関係については、自転車の走行時に求められる運転タスクと利用者個人の運転スキルにばらつきがあることから、結果として、通行空間毎に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、利用者の主観及び客観的な評価に基づくことが重要である。

既往研究では、自転車乗車時における利用者の反応を様々な指標を用いてストレス反応として計測した事例は数多くみられる<sup>2,3,4)</sup>。

また、利用者が様々なタイプの自転車通行帯の種類から走行する通行帯を選択する場合、性別や交通ルールに関する知識の有無などの個人属性が影響することが既往研究により明らかとなっており<sup>5)</sup>、自転車走行時には、走行を選択した通行帯の路面状況や道路概形などの道路条件によって、運転タスクは大きく変化すると考えられる。このように自転車乗車時の利用者の心理的負担には運転タスクが密接に関わると予想されるため(図-1)、自転車利用時の利用者の反応と運転タスクの程度や利用者の知覚能力、運転に対する自信とを総合的に評価する

必要があると思われるが、利用者の反応と通行環境における要因、利用者自身の能力との相互関係を適切なレベルで捉えた研究事例はほとんどない。

そこで本研究では、自転車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、心拍変動間隔(RRI)、筋電図(EMG)、電気皮膚反応(GSR)の3つの生体反応を計測し、運転経験の差による利用者の反応への影響要因について分析をおこなうこととした。

## 2. 自転車利用環境におけるストレス計測手法

### (1) 本研究におけるストレスの定義

ストレスとは、一般的に「外部刺激によって引き起こされる非特異的な生体反応」と定義されているが、現在では、適度なストレスは気力を高め、明晰さを増加させ、状況をより正確に把握できるような効果があるといったストレスの肯定的側面にも注目されている<sup>6)</sup>。自転車乗車時において、ストレスが集中力を高めるか負荷となるかの線引きは難しいが、本研究では、自転車乗車時における身体的負荷や心理的負荷による生体反応全てをストレスによる反応と定義し、走行環境が利用者及び影響を外部刺激とみなし、両者の関係をみることとした。

(2) 本研究における運転タスクの定義

自転車で歩道を通行する場合、自転車利用者は数多くのマルチタスクを処理していることになる。また、通行帯が変われば自転車利用者に要求されるタスクの種類や数も異なり、それらが利用者の負担となって生体反応として表れるのではないかと考えられる。

従って、本研究では、運転タスクを自転車乗車時に各通行帯を走行するうえで必要となる作業負荷と定義した。作業負荷とは、人の生理的・心理的状态を乱すように作用する外的条件や要求の総量である<sup>7)</sup>。実験時には運転タスクの程度を、自動車や歩行者などの外部要因に影響されず、単純な運転タスクのみで運転することができる閉鎖空間における実験コースと、様々な外部要因が存在し、それらに対して複雑な運転タスクが要求される実際の道路上に設定した実験コースとして表現した。

(3) 生体反応指標の概要

①心拍変動間隔 (RRI)

心拍変動は、心電の R 波と R 波の間隔 (RRI) の変動、つまり瞬時心拍数の変動を意味する。この RRI が通常よりも低減する時、ストレスが生じていると判断できる。

②筋電図 (EMG)

筋電図は、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。筋電図波形は、ベースラインを境に陽性波形と陰性波形で構成されているが、解析をおこなう際に分かりやすくするため、陰性波形を上に変換し陽性波形として表示するRMS波形処理をおこなった。

③電気皮膚反応 (GSR)

電気皮膚反応は、強い刺激や心理活動に伴い、発汗などにより皮膚に一時的に生じる電気的变化のことであり、数値が上昇すればストレスが生じていると判断できる。一般的に、心理性発汗の汗腺の濃度が最も高い指先に電極を設置することが多い。

(4) 計測機器概要

計測機器としては、S&ME社製のバイオログセンサーを用い(図-2)、自転車で走行した時の被験者のRRI(心拍変動間隔)、EMG(筋電図)、GSR(電気皮膚反応)、及び車両の傾斜角度を計測した。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、簡易実験により5つの筋肉の候補の中から決定し、咀嚼筋の咬筋に取り付けることとした。傾斜角度センサーについては、車体のダウンチューブに設置した。また、走行実験において、走行中の位置、被験者の挙動及び周辺状況を記録す

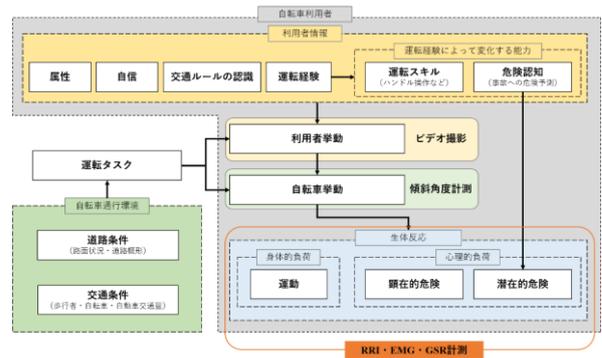


図-1 生体反応モデル



図-2 計測機器及び電極取り付け位置

るために自転車のハンドルにGARMINの360°カメラを取り付けた。各センサーの測定間隔は、EMGとGSR、傾斜角度については、0.001秒間隔で計測され、データロガーに記録される。RRIについては、約0.5秒間隔で測定されるが、脈拍数が被験者で異なるため測定間隔は変動する。また、出力の際には、運動状態におけるRRIの数値として不適切なデータ(ノイズなどによる波形の乱れ)は除いて抽出した。

3. 研究方法

(1) 走行実験概要

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おこなった。被験者は、自転車運転経験の異なる学生と教員15名(運転経験別人数)を対象とし、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(1m・0.8m・0.65m)の直線1m、幅15cmの本橋1m、急制動、間隔2.5mのスラローム15m、カーブ走行(曲線半径3段階)から構成されるもので、他の交通モードの影響を受けない大学内に設定した。一方、複雑な運転タスク処理を要求する実験コースとしては、実際の道路上にある路面標示整備箇所(全面着色・矢羽根・高

視認性・視覚分離) と路面標示の設置がない生活道路から構成される全長約6km (所要時間30分) のコースで、大阪府堺市に設定した (図-3) . なお、本研究では通行帯の名称を交通量の大小から表-1のように命名した. 計測の際は、運動状態での生体反応を正常値とするため、安静状態・自転車走行状態を一定時間計測した後、コース走行状態での計測をおこなった.



図-3 路上コース (大阪府堺市)

(2) 分析方法

本研究では、ストレスに関わる運転経験差を考慮して、各実験コースにおける運転タスクの異なる外部要因に対する生体反応の違いについて比較をおこなった. 路上コースについては、各通行帯の単路部のみを分析対象とした. 計測した被験者別のデータ数を表-2に示す. 分析方法については、RRI以外の観測されたデータを学内実験では0.001秒ごと、路上実験では0.1秒ごとに平均値を算出し、通行帯区分及び、通行帯内のイベントごとに平均値、標準偏差を算出し比較をおこなった.

表-1 本研究における通行帯区分

通行帯区分	種別	路面標示		交通量	区間平均走行速度 (km/h)
自歩道	自歩道	あり	視覚分離	小	16.0
車道混在型 A	車道	なし	-		16.1
車道混在型 B	車道	あり	高視認性矢羽根	大	17.4
車道混在型 C	車道	あり	全面着色		16.2
車道混在型 D	車道	あり	通常矢羽根		18.7

4. 運転経験別の生体反応比較

(1) 学内実験におけるイベント比較

学内実験におけるイベントに対する生体反応を被験者の運転経験別 (通学・通勤での使用の有無, 日常利用者8名・非日常利用者7名) に平均値で比較をおこなった. RRIとGSRでは、イベントによっては日常利用者の方が非日常利用者と比較して反応が大きくなる傾向がみられたが、EMGについては、すべてのイベントについて日常利用者 (M=14.9, SD=26.9) より非日常利用者 (M=22.2, SD=31.9) の方が反応は大きくなり、有意な差がみられた (t=80.2, df=431,074, p<.01) . 特に、一本橋や急制動などでEMGが大きな反応を示していた (図-4) .

表-2 計測したデータ数 (被験者別)

		No1	No2	No3	No4	No5
学内実験	走行時間	2'58	3'32	3'00	4'25	2'38
	EMG+GSR	178,990	212,410	180,720	265,940	158,401
	RRI	286	366	290	405	264
路上実験	走行時間	31'59	34'14	28'32	33'21	32'00
	EMG+GSR	19,191	20,547	17,123	20,013	19,207
	RRI	3,440	4,270	3,892	3,209	3,203
		No6	No7	No8	No9	No10
学内実験	走行時間	2'52	3'00	2'53	3'19	2'23
	EMG+GSR	172,680	180,150	173,940	199,780	143,000
	RRI	254	282	301	300	253
路上実験	走行時間	28'26	28'55	28'25	34'50	30'53
	EMG+GSR	17,061	17,357	17,051	20,903	18,538
	RRI	3,133	3,184	3,552	3,307	3,330
		No11	No12	No13	No14	No15
学内実験	走行時間	2'36	2'26	3'10	4'17	2'47
	EMG+GSR	156,350	146,002	190,420	257,310	167,630
	RRI	296	300	360	422	305
路上実験	走行時間	32'46	35'45	31'06	29'20	29'12
	EMG+GSR	19,666	21,454	18,967	17,608	17,529
	RRI	3,692	4,216	3,601	2,767	3,280

(2) 路上実験における通行帯区分の比較

路上実験における各通行帯を走行した際の生体反応の平均値を被験者の運転経験別に比較した (図-5) . その結果、すべての生体反応指標において、ほぼすべての自転車通行帯区分で非日常利用者とは比べて日常利用者のストレス反応が大きくなっており、統計的な有意差がみられた. しかし、GSRについて、車道混在型Cの通行帯区分においてのみ、非日常利用者のストレス反応が大きくなった.

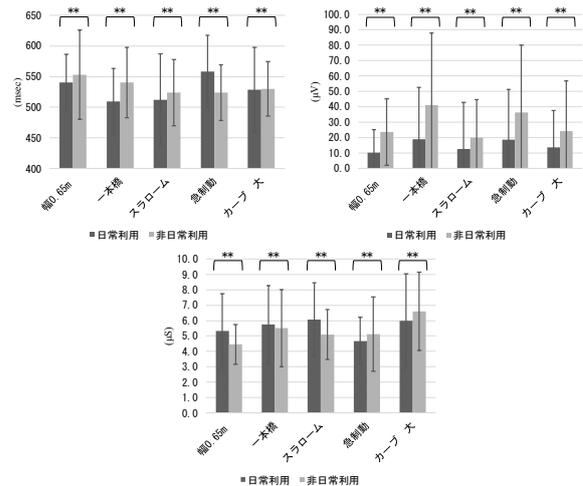


図-4 学内実験イベント比較 (運転経験別平均値) (左:RRI 右:EMG 下:GSR)

(3) 路上実験におけるイベント比較

各通行帯区分におけるイベント時の生体反応の平均値を被験者の運転経験別に比較した結果 (図-6) , 路上駐車車の追い抜きや歩行者との錯綜などのイベントについて

も、すべての指標で日常利用者の方が大きな反応を示していたが、GSRにおいてのみ自動車や大型車による追い抜き時非日常/日常利用者間の平均値が逆転してい

ることが確認できた。これは、車道混在型Cの通行帯区分における非日常利用者の GSR の反応が大きくなった要因であると考えられる。

5. 結論

本研究では、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、生体反応を計測し、運転経験の差による利用者の反応への影響要因分析をおこなった。

結果として、模擬コースのように他の交通等の影響を受けにくい状況下では、運転経験による影響が運転スキルとして表れ、走行に技術が要求されるような状況下でEMGが大きく反応していたと予想される。一方、実道路路上では歩行者や自動車など他の交通等の影響を大きく受けるため、日常的に自転車に乗車することで、歩行者や自転車とすれ違う際の相手の動き方の予測など、乗車中に常に危険に対して予測する能力が発達し、日常的に使用していない人と比べて、危険予測によるストレスとしてすべての指標に生体反応として表れた可能性が高いと考えられる。GSRについては自動車による追い抜かれなどの心理的負荷の影響を受けやすく、特に非日常利用者の方がより影響を受けやすいことが確認できた。

今後の課題としては、更に脳波 (EEG) センサーを追加し、自転車走行状態における動画視聴時の生体反応を計測することで、運転経験の差が生体反応へ及ぼす影響要因についてより詳細に分析する必要がある。

<参考文献>

- 1) 鈴木美緒・屋井鉄雄：大都市部における自転車の車道走行空間の安全性に関する研究，日本都市計画学会 都市計画論文集，No41-3，2006.
- 2) 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・自転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，Vol48，No234，2013.
- 3) 山川博司・Le Quoc Dung・山下淳・浅間一：生理計測に基づくカーレーサーのストレス推定，計測自動制御学会システム・情報部門学術講演論文集，pp853-858，2014.
- 4) 路紫涵・張信鵬・浅野泰仁・吉川正俊：歩行時とビデオ鑑賞時における生体信号の関係発見に向けた分析，DEIM Forum 2016 B3-6

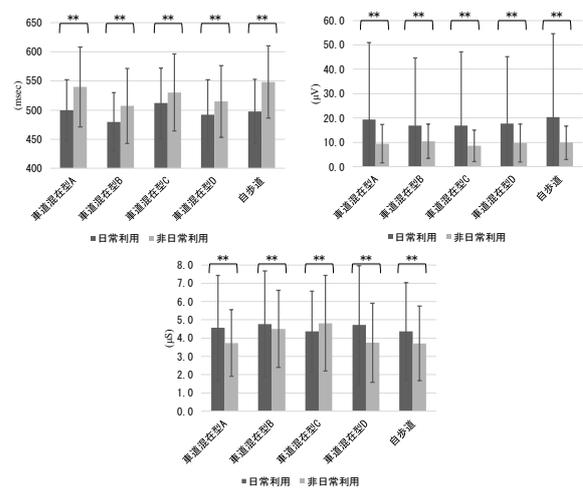


図-5 通行帯比較 (運転経験別平均値)  
(左:RRI 右:EMG 下:GSR)

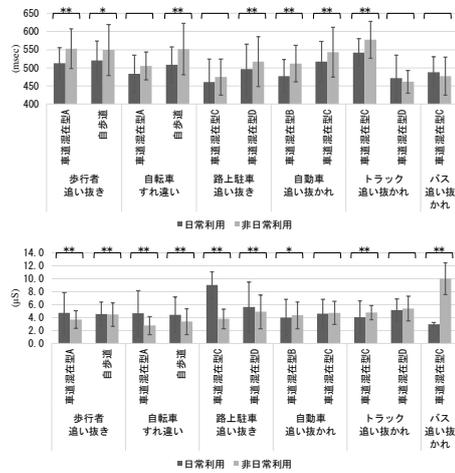


図-6 路上実験イベント比較 (運転経験別平均値)  
(上:RRI 下:GSR)

- 5) V. Beanland, L. J. Hansen, Do cyclists make better drivers? Associations between cycling experience and change detection in road scenes, Accident Analysis & Prevention, volume106, (2017), pp. 420-427.
- 6) Shawn Achor：幸福優位 7つの法則，徳間書店，2011.
- 7) 芳賀繁・水上直樹：日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定，人間工学，Vol32，No2，1996.

(2020. 3. 6 受付)

AN ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING VITAL REACTION IN BICYCLE FACILITIES BASED ON DRIVING EXPERIENCE

Katsumasa TATSUNO and Nagahiro YOSHIDA

There are various types of bicycle lanes on sidewalks and roadways that separate or share the space with other modes of traffic. However, few research examples capture the interaction between rider reaction, factors in the traffic environment, and rider knowledge when examining what makes a traffic lane desirable from the rider point of view. In this study, to obtain essential knowledge regarding the method of measuring the relationship between stress factors and reactions related to bicycle use, vital reaction is measured in multiple traffic situations with different driving tasks and stress factors. Then, by conducting an analysis of factors affecting the rider reaction in driving experience.