

心拍間隔を用いたストレス計測による 自転車レーンの整備評価

渋谷 大地¹・金 利昭²

¹学生会員 茨城大学大学院 理工学研究科都市システム工学専攻

(〒316-8511 茨城県日立市中成沢町四丁目12-1)

E-mail: 12nm813s@hcs.ibaraki.ac.jp

²正会員 茨城大学 工学部都市システム工学科 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町四丁目12-1)

E-mail: tkin@mx.ibaraki.ac.jp

近年、自転車関連の事故割合は増加傾向にあり、自転車通行空間整備の必要性が高まっている。今後、より効果的な整備を展開するためには、自転車通行空間を適切に評価し、整備に反映させていく必要がある。交通環境評価の指標として、近年、生体反応の一つである心拍間隔を用いたストレス計測手法が注目されている。この手法は、生体が被るストレスを心拍間隔から測定し空間を評価する手法であり、従来の意識レベルによる評価よりも定量的な評価ができる可能性や、心理活動を時間経過に沿って分析できる等の利点がある。そこで、本研究では、この手法を用いて自転車レーンの整備評価を行った。その結果、ストレスが自転車利用者の通行帯選択を捉えていることや、自転車利用者のストレスが路面の整備状況、自動車との側方余裕に影響されることが示された。

Key Words : *bicycle, lane, stress, evaluation, heart rate*

1. はじめに

自転車は日常生活の身近な交通手段として多くの人々に利用されている。近年では健康増進等、レジャー目的としての利用も注目されており、今後も利用者の増加が見込まれる。一方で、自転車関連の事故割合は増加傾向にあり、特に対歩行者との接触事故の増加が顕著にみられ、自転車通行空間整備の必要性が社会的に高まっている。

こうした状況を踏まえ、2008年1月、国土交通省が先進的に自転車通行空間の整備をするモデル地区を指定¹⁾し、以後、全国で自転車通行空間の整備が進められている。また、2012年11月には、国土交通省と警察庁が合同で「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」²⁾を発売し、自転車通行空間整備の指針が示された。しかしながら、効果的な自転車通行空間の整備はまだまだ模索段階であり、今後、より効果的な自転車通行空間の整備を展開していくためには、自転車通行空間を適切に評価し、整備に反映させていく必要があると考える。

交通環境を評価するための指標として、従来は安全性、利便性、経済性、快適性、環境適合性が重視され、交通デ

ータや人間の行動データ、意識データなどを用いて評価されることが一般的であった。しかし、近年では生体反応の一つである心拍間隔を用いたストレス計測手法が注目されている。ストレス計測手法とは、生体が被るストレス(生体が被る精神的な負荷)を心拍間隔から測定する手法であり、この生体ストレスを指標として扱うことができれば利用者に対して、より直接的な立場からの評価が行える可能性がある。加えて、物理量である心拍間隔から得られる生体ストレスを用いることによって、従来の意識レベルによる評価よりも定量的な評価ができる可能性や、心理活動を時間経過に沿って分析することができること等がストレス計測手法の利点として挙げられている³⁾。こうした点から、適切な評価、効果的な整備が求められている自転車通行空間においてもストレス計測手法を用いることは有用であると考ええる。

以上を踏まえ、本研究の目的を、ストレス計測手法を用いて自転車通行環境の評価を行い、整備に有用な知見を得ることとする。

2. ストレス計測に関する研究の動向

ストレス計測による評価は心拍間隔を用いてストレス(精神的な負担)を算出し、このストレスの大きさをを用いて自転車通行空間を評価する手法である。心拍間隔は図-1に示すような自律神経系構造の下で変動し、心拍のR波とR波の間隔であるRRI(R-R Interval)で表される。RRIはストレスを感じると不安や緊張を司る交感神経によってその値が小さくなる。従ってRRI値が小さいほどストレスが大きくなり好ましくない自転車通行空間であると考えられる。

心拍間隔は小型の機器で計測可能であり、データの取得自体も容易である。また、物理量である心拍間隔から得られるストレスを用いることによって、従来の意識レベルによる評価よりも定量的な評価ができる可能性や、心理活動を時間経過に沿って分析することができること等がストレス計測手法の利点として挙げられている³⁾。そのため、医学や人間工学、最近では交通工学の分野においても適用研究がある。鹿島ら⁴⁾はサンプル数は少ないものの通勤電車における「混雑度」が増加するとストレスも増加することを確認している。また、TSV(Total Stress Value)という指標を開発し、このTSVを用いることでストレスがより小さい通勤行動を人々が選択している可能性を示している。石田ら⁵⁾は鉄道サービスにおいて「女性専用車両」と「騒音の低減」が鉄道利用者のストレス低減につながることを示しており、ストレス計測手法が交通工学の分野において有用性が高いことが再確認されている。一方、自転車通行空間評価におけるストレス計測手法について鈴木(弘)ら⁶⁾はLP面積という指標を用いての評価を試みている。この研究においては、目的変数にLP面積から算出するSLv(ストレスレベル)を設定し、外部要因を説明変数に設定した重回帰分析を行っている。しかし、得られた結果については重回帰係数が低く、有意であると判断された説明変数についても自転車通行空間と照合させて考えると合理的解釈が難しい点があることが確認された。また、自転車利用者のストレス計測についてはペダルをこぐ動作による運動が、RRIに影響を与えるため、ストレス計測の際、他交通と比べ特有の難しさがある。ここまで述べてきたように、ストレスを用いた空間評価は様々な指標の適用や計測の方法が試みられてきたが自転車通行空間におけるストレス計測の方法論については確立されていない。そこで、表-1に示したように各々の指標を整理、計測方法についても十分な検討をした上で、自転車レーンの整備評価を行った。

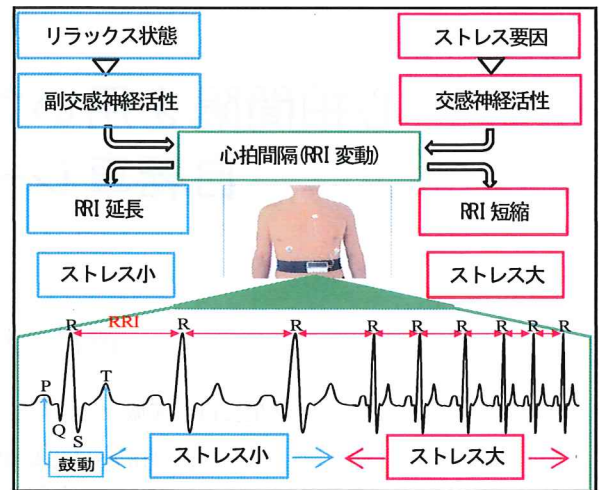


図-1 RRI変動の構造

表-1 ストレス指標の適用性

分野	指標	概要	考え方	自転車通行空間での適用
医学	RRI変動	時系列でRRI変動を捉えることで分析	数値が減少=ストレス	局所的なストレス要因の把握が可能
医学	LF/HF	RRI変動スペクトルにおける低周波数域(LF)と高周波数域(HF)の比率の算術平均値を解析	数値が増加=ストレス	周波数解析は元データを拡大して解析を行う二次的解析であり、算出も比較的難しい
交通工学	RRI(中央値)	RRI変動の一定時間の中央値を捉えることで分析	数値が減少=ストレス	ある空間におけるRRI変動の傾向把握が可能
交通工学	TSV	負荷のない状態をRRIの基準とし負荷時との乖離幅を累積	数値が増加=ストレス	自転車利用者の通行帯選択や経路選択に適用
人間工学	LP面積	グラフの横軸にn番目のRRI、縦軸にn+1番目のRRIを示したグラフの分布域の面積を解析	数値が減少=ストレス	LP面積は自転車利用者のストレス把握を試みる際、得られた結果の合理的解釈が困難である場合が確認された。意識との運動性が比較的低いことが原因である可能性が高い
交通工学	平均ストレス量	理想的な道路におけるRRIをベースとし、ベースとストレス計測時のRRI変動との差異をストレスとして評価	数値が増加=ストレス	身体的負荷や自転車操作によるストレスを概念的に排除できる。意識との運動性が高い
交通工学	瞬間ストレス量	回送時RRI中央値からのRRI低下をある要因による「瞬間ストレス量」と定義	数値が増加=ストレス	時系列RRI変動で確認されたストレス要因の影響の大きさを把握することができる

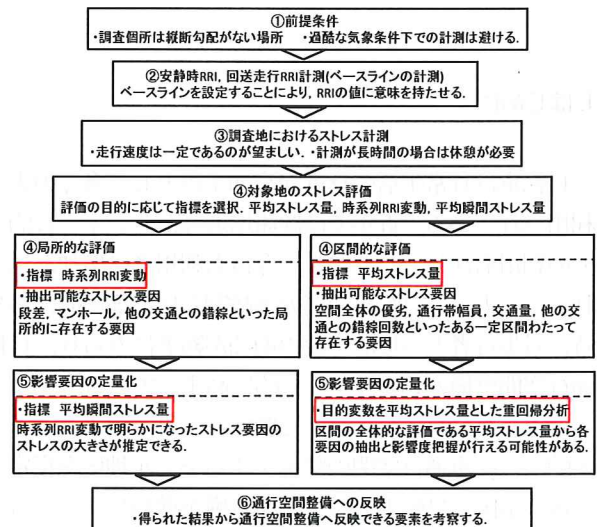


図-2 自転車通行空間におけるストレス計測方法

3. 自転車レーンの先行事例におけるストレス計測

(1) ストレス計測の方法(図-2)

まず、①計測条件について留意することが必要である。特に心拍変動に大きな影響を与える縦断勾配のある箇所や過酷な気象条件下での計測は避ける。②続いて、平均ストレス量、平均瞬間ストレス量(図-3)を用いるためにベースラインを計測

する。ベースラインの計測は他の交通からの干渉を受けず、自転車操作およびペダルを漕ぐという運動のみによるストレスを把握するために計測を行う。

③調査時走行速度は一定であるのが望ましいが、被験者のストレスとなることを考慮し、強要はしない。

④その後、計測データを用いて局所的なストレス要因に対する評価は時系列 RRI 変動を用い、区間的な評価には TSV の考え方に基づいた平均ストレス量という指標を用いて自転車通行空間の評価を行うこととした。これはストレス計測手法を自転車通行空間評価手法として展開するためには、評価結果に合理性が必要不可欠であると考えためである。社会的にも認知されている意識データを用いた一般的な評価手法である「満足度評価手法」⁷⁾と評価結果の優劣について整合性の検討実験(表-2)を行った結果、表-3に示すように平均ストレス量のほうが整合性が高い

ことが判明した。したがって、意識データとの整合性が高い平均ストレス量を用いることで、結果の解釈が容易となり、合理性が確保され、自転車通行空間評価手法として適切であると判断し、本研究においては平均ストレス量を区間的な評価に用いることとした。

(2) 自転車レーンのストレス計測

以上を踏まえ、自転車通行空間の先進事例の評価を行った。調査の概要を表-2に示す。調査地は東京および東京近郊にある車道型自転車通行帯(以下、ここではレーンとする)が整備された通行空間である。東京都内においては、調査の直前に回送走行できるような箇所がなく、ここでは平均ストレス量および平均瞬間ストレス量の際のベースラインを調査直前自転車“からこぎ”時(自転車のスタンドを立て後輪を浮かせた状態で150rpmで漕ぐ)という、自転車走行に近い状態を再現しベースラインとして統一した。これら条件の統一することにより、非常に変動しやすい RRI データの、別日計測結果の比較検討が可能となる。また、埼大通りにおいては自歩道幅員が1.0mと狭い反面、歩行者の交通量が比較的多く、減速が多く発生したことから、自歩道区間とレーン区間の間で平均速度に大きな差が生じ、速度変化による影響度把握実験の結果をもとに速度差補正を行った。

4. 自転車レーンの整備評価結果

ストレス計測手法を用いて自転車レーン整備の先行事例を評価した結果を表-5および図-5に示す。各路線の平均ストレス量を用いた評価では自歩道とレー

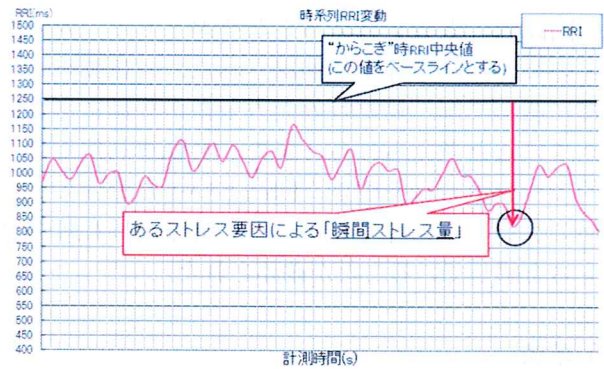


図-3 瞬間ストレス量の考え方

表-2 ストレス指標の比較検討調査概要

調査地	調査日	調査時間	評価対象
鬼怒通り	2011/11/17	7:45-8:50 14:00-15:00	自転車歩行者道 路側帯
宇農前通り	2011/11/18	7:30-8:45 14:00-15:10	自転車レーン 自転車歩行者道
かえで通り	2011/12/12	7:50-8:50 14:00-14:40	自転車道 自転車歩行者道

表-3 整合性検討結果

ストレス指標	満足度評価(意識)との整合率
平均ストレス量	78%(27ケース中21ケースが合致)
LP面積	52%(27ケース中14ケースが合致)

表-4 レーン整備評価調査概要

	水道通り	埼大通り	三郷市道 206号線
調査日	2014/12/23(水)	2014/12/23(木)	2014/12/24(金)
所在地	東京都渋谷区	埼玉県さいたま市	埼玉県三郷市
被験者	健康な男子大学生1名		
RRI 計測対象	自転車レーン 自転車歩行者道	自転車レーン 自転車歩行者道	自転車レーン 自転車歩行者道

表-5 レーン整備評価結果

	水道通り	埼大通り	206号線
レーン平均ストレス量 (ms/分)	23500	17200	14000
自歩道平均ストレス量 (ms/分)	21400	17300 (補正後)	22400
レーン幅員(m)	15	12~15	20
自歩道有効幅員(m)	20	10	12
自動車交通量(台/10分)	58	50	39
レーン走行選択率(%)	17	44	80
実勢自動車速度(kmh)	413	395	519
自動車錯綜時側方余裕(m)	1.64	1.96	2.91
ストレスの小さい通行帯	自歩道	レーン	レーン
レーン内の逆走	無	無	有
3つのレーンの比較評価	劣	中	優

ンの値の比較から、水道通りでは自歩道が、埼大通り、三郷市道 206 号線では自転車レーンがよりストレスが小さい通行空間であると判定された。これはレーン走行選択率と傾向が合致しており、平均ストレス量がレーン走行の選択率を示していることがわかる。続いて、平均ストレス量を用いて 3 路線の自転車レーン評価を行った結果、三郷市道 206 号線、埼大通り、水道通りの順にストレスが小さいという結果になった。この結果が得られた要因について時系列 RRI 変動によるデータから要因抽出を行い、平均瞬間ストレス量にて各要因の影響度把握を行った結果、自転車レーンの

区間評価に影響を与える主な要因として、対自動車との錯綜と路上駐車が抽出された。対自動車との錯綜に関しては、錯綜時の側方余裕が評価に影響を与えていると考えられる。また、自転車利用者は一般的にマンホールや段差、凹凸といった路面の状態に他の交通との錯綜やレーン上の駐車と同程度のストレスを感じていることが確認された。

5. 結論

- ① ストレス計測手法を用いて自転車通行空間整備の先行事例を評価した結果、平均ストレス量は利用者の通行帯選択率を説明しており、通行空間の区間的な優劣を説明している可能性が高いことが分かった。
- ② また、平均瞬間ストレス量を用いた評価結果からは利用者がどんな要因にどのくらいのストレスを感じているかを把握することができた。具体的に今回得られた結果からは、水道通りでは自歩道のマンホール上通過時やレーン上の駐車を追い越す際により大きなストレスを感じていること、埼大通りや三郷市道 206 号線では路面の段差通過時や路面の凹凸通過時により大きなストレスを感じていることが分かった。
- ③ 今回の 3 路線での比較評価の結果からは、三郷市道 206 号線の整備が最も利用者のストレスが小さいことが分かった。したがって、広幅員の自転車レーン整備が利用者のストレス低減につながり、利用者のレーン選択率が高まると考えられる。
- ④ 一方、自転車走行時、自動車との側方余裕が狭く、かつ路上駐車が多数通行空間ではレーン利用者のストレ

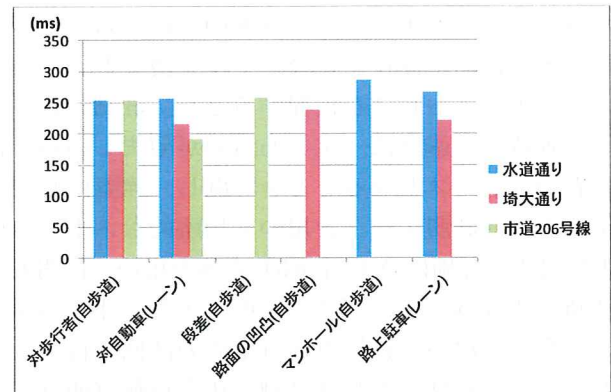


図-5 平均瞬間ストレス量を用いた評価結果

スが大きくなることが分かった。また、自転車利用者は一般的に路上の整備に対してストレスをより強く感じていることが推測された。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局地方道・環境課、警察庁交通局交通規制課：「自転車利用環境整備ガイドブック」(2010)
- 2) 国土交通省・警察庁：安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン(2012)
- 3) 藤澤清, 柿木昇治, 山崎勝男編「新生理心理学」北大路書房(1998)
- 4) 鹿島茂, 武田超：「通勤ストレスの定量化手法に関する研究」運輸政策機構学術研究論文 vol.11 No.4 2009 Winter
- 5) 石田真二, 武田超, 白川龍生, 鹿島茂：「鉄道サービスにおけるストレス軽減効果の検証」運輸政策機構学術研究論文 Vol.15 No.2 2012 Summer
- 6) 鈴木弘司, 今井克寿, 藤田素弘「心拍変動を用いた自転車利用者の幹線街路評価に関する研究」土木計画学研究・論文集第 30 巻, I 857-I 867(2013)
- 7) 金利昭：自転車利用者の満足度を用いた自転車レーンの評価とサービス水準の設定, 都市計画論文集, No.44-3, pp91-96,(2009)

EVALUATION OF BICYCLE LANE MAINTENANCE BY USING HEART RATE INDEX

Daichi SHIBUYA and Toshiaki KIN