

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

渡辺 和憲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: 10nm818t@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.

本研究は、自転車利用者の精神的負担を反映した自転車走行空間の評価手法の確立を目指し、生理的な活動データである心拍間隔を用いたストレス解析手法について検討を行ったものである。具体的には、第一に交通工学分野におけるストレス研究の知見を整理した結果、心拍間隔を用いたストレス解析手法としてRRI変動、RRI（中央値）、RRI分散、ストレス量、LP面積が活用されていることを把握した。第二に、走行ストレス計測実験と自転車利用者の通行帯選択状況の比較から解析手法の妥当性を検討した。また、本研究により、ストレスを用いた空間評価に関する可能性を明らかにすることができ、今後の自転車走行空間の評価手法の一つとして検討する価値を示したと考える。

Key Words : *bicycle, biological stress, RRI, heart rate variability*

1. はじめに

近年、自転車通行環境整備のモデル地区などにおいて自転車と他の交通手段を分離した走行空間を目指した動きが全国的に進んでいる。従来から自転車の走行空間は車道が原則として定められていたが、道路空間制約から車道における自転車専用空間の確保には至らず、自転車利用者は自動車と同一空間の走行を余儀なくされていた。自転車利用者の中で自身の安全を求めるものは、車道より安全に走行できると思い込んでいる歩道を走行空間とすることを望み、安全面から自転車の歩道走行が社会の中で黙認されてきたことから、他の交通主体とは異なり、結果として自転車は複数の空間を走行することが可能であった。

過去から続く習慣を脱しきれず、整備された空間においても原則を無視し他の交通主体の空間を阻害する自転車が観察されることが少なくない。このような自転車利用者の走行空間選択には、少なからず利用者の精神的負担が影響すると考えられるため、今後の走行空間整備において精神的負担を反映した評価が有用であると考ええる。

そこで本研究では、自転車利用者の精神的負担を反映した自転車走行空間の評価手法の確立を目指し、生理的

な活動データである心拍間隔を用いたストレス解析手法の適用性を検討した。

2. ストレスを用いた自転車走行空間評価の意義

一般的に用いられるストレスという言葉にはストレスサーとストレス反応の二つの意味合いが含まれる。ストレスを与える要因がストレスサーであり、ストレスサーが認識されることで身体に表れる様々な反応がストレス反応である。自転車走行空間を例にとれば、段差や他の交通との錯綜などがストレスサーに当てはまり、ストレスサーによる反応を蓄積することで自転車利用者の走行に何らかの影響を与えることがストレス反応となる。

ストレスを把握することで、ストレスサーの観点とストレス反応の観点の両面での評価が可能であると考えられる。ストレスサーを特定することにより段差など空間評価に影響を与える要因の把握が可能となり、ストレス反応を捉えることにより自転車利用者の通行帯選択に関わる区間評価と走行空間ネットワーク評価が可能となると考えられる。そのため、ストレスを自転車走行空間評価の一つの手法として確立することは有用性が高いと考える。

3. 交通工学分野におけるストレス解析手法

(1) ストレス解析データ

ストレスに関する研究は、医学・心理学分野をはじめとして多くの分野で行われている。その計測手法としては、心拍、呼吸、血圧、発汗などの生理的な活動データを解析に用いており、特に近年では、生理的な活動データの一つである心拍間隔を解析することでストレスを捉える手法が様々な研究で用いられている。

心拍間隔はRRI (R-R Interval) とも表現され、図-1に示されるように心電図に現れるR波とR波の間隔を指す。RRIは身体を活性化させる働きがある交感神経系と身体を休息させる働きがある副交感神経系のバランスを反映するとされている¹⁾。緊張やストレスといった交感神経系の影響が強くなる状況に直面すると、人間の心拍が速くなりRRIを短縮させる。逆に、安心といった副交感神経系の影響が強くなる状況に直面すると、人間の心拍が遅くなりRRIを延長させる。またRRIは他の生体反応と比較すると、計測機器が小型であり、計測が容易という利点が存在するため、自転車利用者のストレス把握に適したデータといえる。

(2) 交通工学分野におけるのストレス研究の動向

RRI を活用する交通工学分野におけるストレス研究は、自動車乗車時や鉄道利用時といった長距離移動に関する研究から始まり、自転車のような運動が強く作用する短距離移動に関しても研究対象とされるに至っている。既往研究を探ると、現状はストレス解析手法の模索段階にあると考えられる。今後、ストレスを交通工学分野の評価手法の一つすることを目指す上では、解析手法を比較検討し、最適な手法を見出すことが必要であると考ええる。

鉄道を対象とした鹿島ら²⁾は、ストレスへの適用の一形態である交感神経系の活性レベルを示す指標として、RRI変動、一定時間のRRIの中央値であるRRI (中央値)、RRIの変動スペクトルにおける低周波数域と高周波数域の比率の算術平均値であるLF/HF (A)、また一定時間のストレスを示すために負荷のない状態と負荷時のRRI乖離幅を時間に亘って累積するTSV (Total Stress Value) の四つをストレス分析手法として活用している。

自動車を対象とした根本ら³⁾は、ストレスが高まる時RRI値の変動が大きくなり全体平均からの差が大きい、つまりストレス時はRRI分散が大きくなるという考えから、全体平均と負荷時のRRI値との差の二乗和をストレス分析手法と設定している。

自転車を対象とした鈴木ら⁴⁾は、心電図を用いた自律神経機能検査の一つの方法としての活用され、RRIの変動



図-1 RRI概念図

表-1 既往研究におけるRRIを用いたストレス解析手法

ストレス解析手法	概要	考え方	予想される評価対象
RRI変動 ¹⁾	RRI変動を捉えることで解析	数値が減少=ストレス	ストレス
RRI(中央値) ²⁾	RRI変動における一定時間の中央値を捉えることで解析	数値が減少=ストレス	道路空間評価、走行空間ネットワーク評価
RRI分散 ³⁾	評価空間で得られるRRIから空間全体の平均値を求め、平均値と負荷時の乖離幅の総和を解析	数値が増加=ストレス	
TSV ⁴⁾	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	
ストレス量 ⁵⁾ =理想的道路におけるRRI変動-走行時RRI	理想的な道路における自転車運動のRRI変動をストレスを抽出するための基準とし、基準と自転車走行時の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	
LP面積 ⁴⁾ (ポアンカレプロット ⁵⁾)	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で解析	数値が増加=ストレス (数値が減少=ストレス)	
LF/HF (A) ²⁾	RRIの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	

を視覚的に捉える有用な方法と報告されたLP (Lorenz Plot) 面積を用いて、この値が大きいくことをストレスとして評価している。なおLPとは、横軸をn番目のRRI、縦軸をn+1番目のRRIとしてグラフ上にプロットするもので、副交感神経活動評価が簡易に解析できる手法である。同様の解析手法を用いるストレス計測として、佐田ら⁵⁾のポアンカレプロットの解析手法が挙げられる。LP面積の解析手法と同一であるが、佐田らは面積が大きいくほどストレスが小さい、ストレス負荷時にはグラフの左下に集中し面積が小さくなると報告しており、鈴木らの解釈とは真逆でストレスを判断している。これに関しては、筆者らも様々な交通環境下で数多くのRRI変動を計測した結果、ストレスが強いとRRIが低下し同時に変動幅が小さくなることを確認している。

また、中島ら⁶⁾は、RRI変動をもたらす様々な要因の中からストレスのみを抽出するため、理想的な道路における自転車運動のRRI変動をストレスを抽出するための基準とし、評価の普遍性を狙って、基準と自転車走行時のRRI変動との差異をストレス量として定義している。

以上の評価手法を自転車の評価対象を考慮して整理すると表-1 となる。手法は異なるが、捉えるものはストレス

で共通しており、いずれも数値の増減で判断することになる。一方で、解析手法のストレス判断で真逆の解釈になる報告が確認できたことから、これらが示す値の整合性に疑問が生じる。そこで本研究では、自転車利用者のケーススタディを通じて、ストレス解析手法の比較検討を行うことで、その適用性を考察する。



図-2 幡ヶ谷水道通りにおける自転車走行状況

4. ストレス解析手法の検討

(1) 実験地概要

東京都幡ヶ谷水道通りに整備された自転車レーンにおいてRRI計測を行った。水道通りの道路は、車道の路側帯空間が自転車レーンとして活用されているが、歩道は自転車通行可の自歩道として整備されている。つまり自転車利用者は、どちらの通行帯でも自由に選択し得る道路である。各幅員は自歩道が2.0 m、自転車レーンが1.5 m、車道が3.0 mという道路構造である。一見すると自転車レーンは自動車との距離が近く危険であるように受け取られるが、平坦であり速度が遅い歩行者が存在しないことから、一部の自転車利用者には好まれている構造である。また、自転車レーンを走行している自転車は自動車から確認しやすいため、自転車走行環境整備の中で安全だとされている。

実際の自転車利用者の走行状況をみると、図-2のように自転車レーンを走行する自転車が多く観察できた。一方で、自転車レーンにはマナーが悪い自動車運転者による路上駐車がみられたが、それ以外は自歩道よりも走行しやすい整備がなされていた。つまり、自歩道には自転車利用者が快適に走行するに望ましくない要因が存在し、自転車利用者にストレスを与えるため、自転車利用者は自転車レーンの走行を選択すると推察できる。すなわち、以降では、自歩道より自転車レーンのほうがストレスが小さいという仮説を検証することになる。

(2) 調査概要

実験区間は、実験中に信号で停止することがないように、全整備延長の中で大きな信号が含まれない約200mを設定して実験を行った。ストレスを把握するデータであるRRIは心拍の間隔を表すことから、運動などストレス以外の要因により変動する。そのため、運動の違いがストレスとして評価されないよう、実験区間では被験者である成人男性が普段自転車を利用する速度で統一するよう努めた。なお、自転車は一般的にママチャリと表されるシティサイクルを使用した。また、実験データの前後20秒は実験実施自体による緊張などがRRIを変動させると考えられるため、解析データから除外してある。

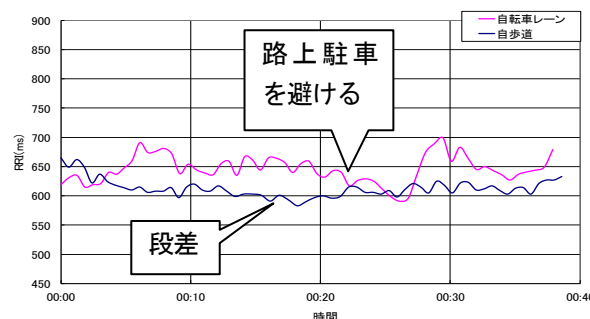


図-3 水道通りにおけるRRI変動

(3) ストレス解析手法を用いたストレス評価

a) RRI変動

自転車レーンを走行した際のRRI変動を分析すると、想定されたように路上駐車を避けたときにRRIが減少していることが図-3からわかる。自歩道を走行する際のRRI変動では段差、歩行者を避けるなど主観的に考えられるストレス要因が生じた瞬間にストレスが発生していることが確認できる。つまり、RRI変動を分析することでストレス要因による影響を捉えることが可能と考えられる。

しかしながら、現状ではRRIの減少全てがストレス要因と関連すると明言することができない点に課題があるといえる。ストレス要因と想定された要因をRRIで確認すると減少がみられたが、逆にRRIの減少が常にストレス要因と関連することは確認できなかったため、時間差や回復時間も含めて今後の検討が必要である。

b) RRI (中央値)

区間RRIの代表値としてRRI (中央値) の比較を行う。代表値として平均値も考えられるが、平均値ではRRIの明らかな異常値の影響を受けるため不適といえる。

自転車レーン走行と自歩道走行のRRI (中央値) を比較すると、自転車レーン643、自歩道610となり、自歩道のストレスが大きいことがわかった。

c) RRI分散

自転車レーンと自歩道におけるRRI分散の基準として、RRI計測時のノイズである異常値を除くためRRI変動の95%値を設定した。

自転車レーン走行と自歩道走行のRRI分散を比較すると、自転車レーンが2271、歩道が2193の値となり、自転車レーンが自歩道よりも約80大きい、つまり自転車レーンのストレスが大きいと判断できる。

d) TSVとストレス量

ストレス解析手法の中で、TSVとストレス量は平常時に近い状況において基準を設け、基準からの乖離幅で評価するという点で共通している。本研究での基準は実験前に自転車のサドルに座った状態で計測したRRI変動の95%値である947と設定した。

自転車レーン走行と自歩道走行のストレス量を比較すると、自転車レーン18375、自歩道21043となり、自歩道が約2700大きい、つまり自歩道のストレスが大きいと判断できる。

e) LP面積

自転車レーンと自歩道のLP面積を求めたものが図-4と図-5である。それぞれのLP面積の値は、自転車レーン1005となり、自歩道597となった。鈴木らの解釈で評価を下すと、自転車レーンが508の値だけストレスがあることになるが、これは自転車利用者の実態と整合していない。一方、佐田らの解釈では、グラフの左下に集中し面積が小さい自歩道の方がストレスがあると判断でき、鈴木らと逆の評価になる。

f) まとめ

以上の結果をまとめると表-2となる。自転車利用者の走行状況から想定されたストレスの仮説と整合する手法は、RRI（中央値）、ストレス量、佐田らの解釈を用いたLP面積であった。また、RRI変動はストレッサーを把握する可能性があることがわかった。一方、仮説とは逆の結果を示した手法が、RRI分散、鈴木らの解釈を用いたLP面積である。今回の検討で、解析手法により評価結果に差異が生じることが明らかになったため、ストレスを活用する空間評価では、最適な解析手法を選択する必要があるといえる。

5. 結論

本研究では、自転車走行空間評価に利用者の精神的負担であるストレスを反映させることを目指し、人間の生理的な活動データであるRRIを用いたストレス解析手法の比較検討を行った。その際のストレス解析手法として、交通工学分野におけるストレス研究で選択されているRRI変動、RRI（中央値）、RRI分散、TSV、ストレス量、LP面積を対象とし、自転車利用者の通行帯選択状況と比較した結果、解析手法により評価結果と通行帯選択状況の間で差異が生じることが確認できた。また、RRI変動は段差など主観的に考えられるストレス要因の把握に利用できる可能性があることが確認できた。

ストレスを用いた空間評価に自転車利用者の走行状況との整合性を確認できたことから、ストレスを用いることが利用者の意識を捉えることに繋がると考えられ、今後とも検討する価値がある評価手法だといえる。

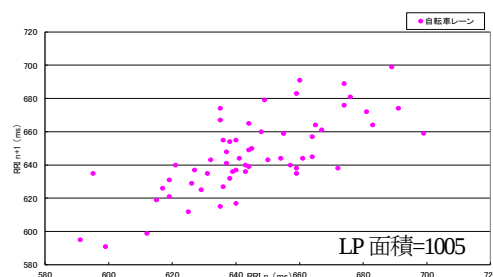


図-4 水道通りにおけるLP面積（自転車レーン）

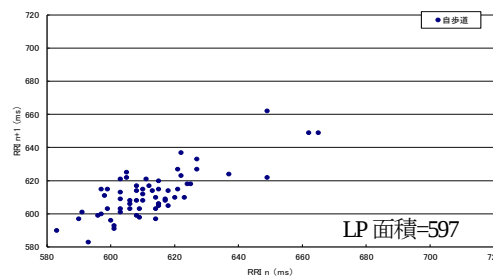


図-5 水道通りにおけるLP面積（自歩道）

表-2 ストレス解析手法毎の評価

	自転車レーン	自歩道	ストレス大小
RRI 変動	—	—	—
RRI (中央値)	643	610	レーン<自歩道
RRI 分散	2271	2193	レーン>自歩道
ストレス量	18375	21043	レーン<自歩道
LP 面積 (鈴木解釈)	1005	597	レーン>自歩道
LP 面積 (佐田解釈)			レーン<自歩道

参考文献

- 1) 藤澤清, 柿木昇治, 山崎勝男: 新生理心理学, 北大路書房, 1998.
- 2) 鹿島茂, 武田超: 通勤ストレスの定量化手法に関する研究, 運輸政策研究, Vol.11 No.4 pp.47 -53,2009.
- 3) 根本千衣, 浜岡秀勝, 清水浩志郎: 前方車両からの情報提供がストレス低減にもたらす効果, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.32(189),2005.
- 4) 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, Vol.41(366),2010.
- 5) 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.
- 6) 中島豪太, 金利昭, 鹿島茂: 心拍間隔指標を用いたストレス計測による自転車走行環境評価に関する基礎的研究, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.40(288),2009.

(2011. 8. 5 受付)