

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

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 教授
(〒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、道路走行環境改善のために、歩行者・自転車・自動車混在時の空間をストレス計測手法を用いて評価することを目的としている。複数の交通が混在している空間をストレス計測手法を用いて評価する際には、速度等の交通そのものが持つ特徴の違いや、車両操作の有無や運動強度の違いといった、各交通が持つ心拍間隔に影響を及ぼすとされる要因の特殊性を考慮しなければならないなどの課題がある。そこで、本研究では第一段階として交通状況等の条件が設定しやすい実験形式で歩行者・自転車混在時のストレス計測を行った。その結果から、どのような事象の際にストレスを感じる傾向があるのか、また、混在時のストレス計測を行う際の課題を明らかにし整理した。

Key Words : stress, evaluation, pedestrian, bicycle, car, mixed

1. はじめに

近年、自転車の走行位置や歩行環境の劣悪さが問題となっており、より良い交通環境を創出するため、各交通モードの走行空間の再配分が検討されている。これまでの道路設計は、交通量をより多く、効率良く、安全で低コストな道路を主目的として行われてきた。しかしながら、これまでの設計では交通空間を実際に利用する道路通行者の移動負荷といえるストレスや移動の満足度といった道路通行者の心理的な側面の考慮というものは軽視されてきたと考える。今後、より効果的な道路空間整備を進めるうえで、および新たな視点からの道路機能改善として、道路通行者の心理的影響を考慮した道路設計は重要であると考えられる。

一方、最近では道路空間の心理的評価に関する研究が行われている。特に生体情報の一つである心拍間隔を用いたストレス計測手法は、近年、交通工学の分野においても盛んに議論されている現状にある。既存研究では自動車や自転車、歩行者といった各交通モードにおいて、ストレス計測を用いた道路空間評価手法の確立が試みられ、また、実際に道路空間の評価を行っている研究もみ

られる。しかし、複数の交通モードを同時にかつ包括的に取り扱ったストレス計測に関する論文は確認されておらず、より良い道路空間設計・整備のためには、各交通からの道路空間評価のみならず、複数の交通が混在している道路空間を包括的に評価する必要があると考える。

したがって、本論文では多様な交通の中から、代表的な交通である自動車、自転車、歩行者に着目し、道路通行者の心理的負担を把握する評価手法の一つであるストレス計測手法を用いて、自動車・自転車・歩行者混在時の走行環境を評価する手法の確立を目的とする。

2. 交通工学分野におけるストレス計測手法

(1) ストレス計測手法

ストレス計測手法とは心拍や脳波、脈波などの生体反応を用いて精神的負荷であるストレスを抽出し、空間評価を行う手法である。特に心拍間隔は図-1に示したように計測機器が小型のものも多く、また、計測自体は容易であるという、他の生体指標に対しての利点があり、多くの研究がなされている。心拍間隔は、図-1に示すように心拍のR波とR波の間隔であるRRI(R-R Interval)であら

わされる。人間は緊張などの精神的な負荷により交感神経系が活性化し、心拍間隔が短くなるとされている。一方、リラックス状態にあるときには副交感神経系が活性化し、心拍間隔が小さくなる。したがって、RRIを計測することで心拍間隔の変動を把握することができ、同時にストレスを抽出することが可能である。ストレス計測手法を評価手法として用いる利点としては、「物理的に数量化できる、心理活動を時間経過に沿って分析できる、無意識の分野の研究が可能」¹⁾などの点が挙げられている。既存の研究においては、空間をより定量的に評価するための指標についても多くの研究がなされており、代表的な指標としては表-1に示したようなものが挙げられる。

(2)交通工学分野における既存研究の整理

交通工学の分野における各交通モードのストレス計測は以下に示すものが行われてきた。鹿島ら²⁾は、通勤電車におけるストレスを心拍間隔を用いて計測し、鈍行列車と急行の利用者の違いが利用者のストレスに起因している可能性を示しており、また交通工学の分野におけるストレス計測による評価の先進的な研究を行った。今村ら³⁾は、自動車運転時の心理的負担をストレス計測手法を用いて把握し、ストレス要因として車両操作と外的要因が挙げられるとしている。渡辺ら⁴⁾はストレス計測手法を用いた自転車走行空間評価を試みており、身体的負荷の考慮が必要であること、使用する指標の適用性についても論文で言及している。駒宮ら⁵⁾は歩行時の心拍計測についての知見を示しており、緑という周辺環境が心拍に及ぼす影響についても論文で取り扱っている。複数の交通を取り扱っている論文には斉藤ら⁶⁾の自動車および自転車と歩行者のすれ違いにおける歩行者のストレスを計測した論文が確認されたが、すれ違いのみのストレス計測にとどまっており、総合的な道路走行環境の評価までには至っていない。

(3)本研究の位置づけ

ストレス計測手法の特徴や、交通工学分野における既存研究を踏まえ、本研究においてはまず、歩行者・自転車・自動車三交通の同時ストレス計測についての方法を検討する。対象とする三交通は速度が異なるため走行空間の延長を設定するなど、ストレス計測によって混在時の空間評価を行う際には実験条件等の工夫が必要となる。そこで、既存研究の整理や実験街路で基礎的知見を得るための実験を行い、その調査により得られた結果と調査時の問題点、および今後の課題について把握し、調査方法の検討を行う。その後、実際の街路において、三交通のストレス計測を行い、空間の評価を試みる。

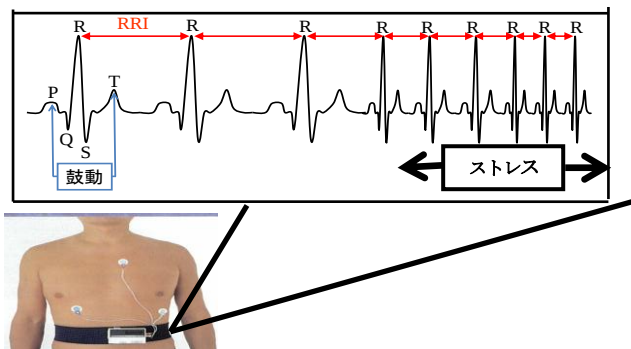


図-1 ストレス計測手法

表-1 代表的なストレス評価指標

ストレス分析手法	概要	考え方
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
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
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
ストレス量	理想的な道路における自転車運動のRRIをベースとし、ベースと自転車走行時の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	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	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

3. 三交通混在時ストレス計測における課題

歩行者・自転車・自動車の三交通のストレス計測を行うにあたっては、様々な課題が存在する。一つは、自動車では車両操作が与える心理的負担、自転車ではペダルを漕ぐときに発生する身体的負荷を考慮しなければならない等、各交通が持つ心拍間隔に影響を及ぼすとされる要因の特殊性を考慮しなければならないことが挙げられる。また三つの交通の速度が異なるなどといった交通そのものの特徴の違いから、ストレス計測時の条件設定も検討する必要があるなど、混在時のストレス計測を行う上では、不可避な考慮事項が多く存在すると考えられる。そこで、歩行者・自転車・自動車の三交通ストレス計測に先立ち、各交通の従来のストレス計測手法に従い、実際の計測を条件や要因を設定しやすい実験形式で行い、心拍変動の各交通における特徴を整理や空間の評価を行うこととした。そして、計測を行った結果から混在時の空間評価を行う際の、課題、心拍変動の傾向などを把握し、混在時のストレス計測方法について、検討することが一つ目の段階として必要であると捉え、混在時評価に関する基礎的な調査を実験街路にて行った。

4. 歩行者・自転車混在時における基礎的調査

(1)調査概要

対象とする三交通の中からはまず、速度が近く実験条件の設定が比較的容易な歩行者と自転車の混在時について実験街路を設定し調査を行った。調査の目的としては、それぞれの交通主体が被るストレス量の算出を実験的な方法を用いてを試み、調査により得られた結果と調査時の問題点、および今後の課題について把握することである。調査場所は、茨城大学構内に設置した実験街路である。全長は100m、幅員2.0mとし、歩行時および自転車走行時に心拍変動に影響を与える縦断勾配については、勾配がない箇所を街路として選定した。

(2)設定条件

設定した条件については大きく分けて、混在状況の設定と交通量の二つの要因について行い、混在の状況と交通量が心拍変動にどのような影響を与えるかを把握できるようにした。具体的にまず、混在パターンについては被験歩行者および被験自転車が他の交通とどのような形態で錯綜するかに焦点を当て、表-3に示すように計8パターン混在状況の設定を行った。続いて、交通量においては、被験歩行者および被験自転車のみの状況を1ケース設定し、それ以外に表-4に挙げた5ケースを想定、交通量を徐々に変化させることにより、被験者がどの程度ストレスを感じるのかを把握できるようにした。

(3)調査方法

被験者は健康な男子大学生1名とした。使用する自転車は一般的なシティサイクル車とした。心拍の計測にはPOLAR-RS800CXというワイヤレスタイプの心拍計を使用した。安静時の心拍間隔を把握するため研究室において座位10分間の心拍間隔を計測し、その後、調査地へ移動した。被験者には実験街路の左側を自由な速度で歩行および走行をしてもらった。ただし、追い越しの際は実験街路の中の右側を通行で統一した。実験街路は図-2に示すように被験者が実験街路を1往復するごとに交通状況の変更を行い、また疲労による影響を考慮し、1往復ごとに2分の休憩を入れた。

交通状況については5ケース設定し、5ケース終了後混在条件の変更を行った。

5. 調査結果と混在時の空間評価

本実験においては、表-1の中のストレス量を用いて空間評価を行った。実験時に計測したRRI値とベースライン（研究室における安静時10分間の中央値）との乖離幅

表-2 調査概要

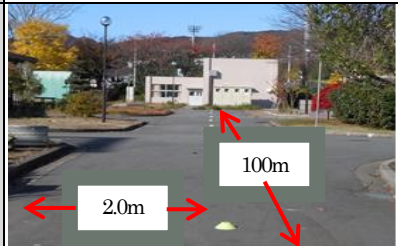
調査日	2013/5/9
調査場所	茨城大学構内
被験者	健康な男子大学生1名
交通状況	8パターン40ケース
実験街路概要	

表-3 設定した混在パターン

混在パターン	混在状況
パターン1	被験歩行者と自転車のすれ違い
パターン2	被験歩行者を自転車が進み越す
パターン3	被験歩行者と歩行者のすれ違い
パターン4	被験自転車と自転車のすれ違い
パターン5	自転車が被験自転車を追い越す
パターン6	被験自転車が自転車を追い越す
パターン7	被験自転車が歩行者を追い越す
パターン8	被験自転車と歩行者のすれ違い

表-4 設定した交通ケース

交通量ケース	状況
ケース1	被験者以外の交通が1人または1台
ケース2	被験者以外の交通が2人または2台
ケース3	被験者以外の交通が3人または3台
ケース4	被験者以外の交通が5人または5台
ケース5	被験者以外の交通が8人または8台

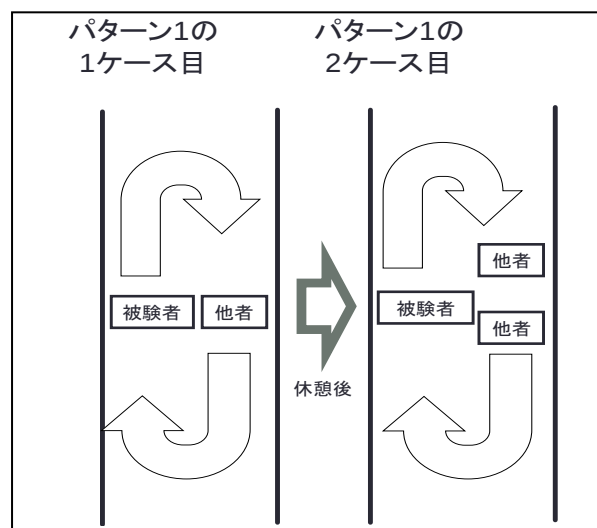


図-2 実験方法

を時間積分し、総ストレス量を算出。1ケース毎の総ストレス量(TSV)から、(i)式を用いて単位時間当たりのストレス量を算出した。ストレス量を用いることで空間の全体の良し悪しといったマクロな視点での空間評価を行うことができ、また、交通量など空間全体に断続的に存在するストレス要因の把握ができる。

$$\text{ストレス量} S = \frac{\sum (RRI_B - RRI)}{T} \times 60 \cdots (i)$$

Sは1分当たりのストレス量、 RRI_B は安静時のRRI、Tは1ケースの走行時間（秒）を表す。

(i)の式を用いてストレス量を算出し、空間評価を行った結果、以下に述べることが示唆された。

まず、すれ違いに関しては被験者が歩行者、自転車問わず図-3に示すように交通量とストレス量の間に比例傾向が見て取れた。一方で、図-4に示すような追い越し、または追い越されに関しては他の交通の有無によってストレス量が左右されており、交通量の違いによってはストレスが変化しない傾向が見られた。これは、歩行者も自転車も他の交通とすれ違う度に、ストレスを感じ、追い越しまたは追い越されの場合は最初の1台のみにストレスを感じている可能性や、すれ違い時にみられるように、ストレス要因を視覚的にとらえている間は常にストレスを感じている可能性などが結果的に考えられる。また、図-3と図-5の比較より、他の交通との混在している状況の方が、同一の交通のみの空間よりストレスが大きいという結果も得られた。この結果より、歩行者は歩行者のみの走行空間、自転車は自転車のみの走行空間を整備する方がよりストレスが小さいということが明らかとなった。さらに歩行者が自転車に対して感じるストレスが大きいことが大きいという結果も得られ、より立場の弱い交通が、より強い交通に対してストレスを感じやすいことが示唆された。

6. 課題と今後の方針

今回の調査においては、自動車が混在している場合は対象としていないため、自動車も混在している場合のストレス計測も必要である。自動車のストレス計測については、走行速度が速いことから、街路の長さを十分に確保することが必要になってくると考えられる。また、今回のように実験街路を設定して実験を行った場合では、特定の条件の操作は容易に行うことができる利点があるという一方で、実際の街路の再現性に乏しく、被験者からも、実験街路における調査は違和感があるとの声も上がっており、今後は実際の街路にでの調査を検討していく予定である。また、ストレス計測の手法自体の課題として、外部の電子機器などの影響によってノイズが発生し、計測ミスが生じる場合もあり、今回の調査のようにワイヤレスの心拍計を用いる際は十分に留意する必要がある。

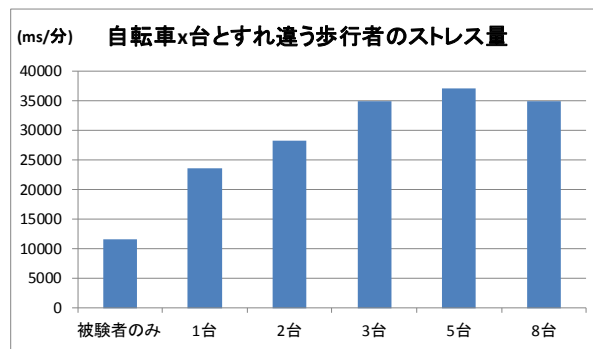


図-3 自転車とすれ違う歩行者のストレス量

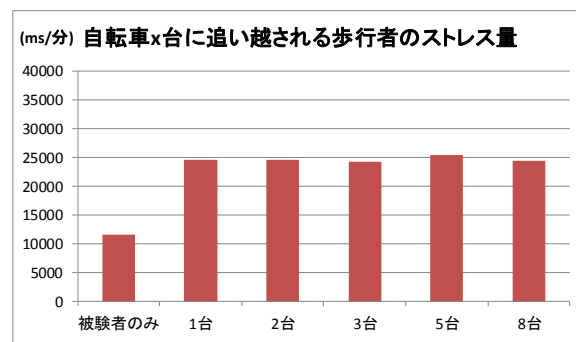


図-4 自転車に追い越される歩行者のストレス量

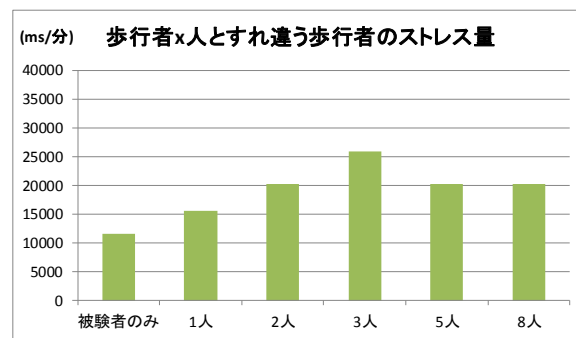


図-5 歩行者とすれ違う歩行者のストレス量

参考文献

- 1) 藤澤清, 柿木昇治, 山崎勝男編「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」季刊運輸政策研究vol.11 No.4 2009 Winter 財団法人運輸政策研究機構
- 3) 今村友弥, 坂本将吾, 鹿島茂: 「心拍変動による自動車運転時の心理的負担の定量的評価」土木計画学研究発表会・講演集, Vol.44(169), 2011.
- 4) 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考察」土木計画学研究発表会・講演集, Vol.44(213), 2011.
- 5) 駒宮隆男, 谷下雅義: 「緑が歩行中, 歩行後の心拍変動に及ぼす影響」土木計画学研究発表会・講演集, Vol.42(205), 2000
- 6) 斉藤健治, 清田勝: 「自動車, 自転車とのすれ違いにおける歩行者のストレスに関する心拍変動による評価」佐賀大学集報, Vol.34, No.2, 2005
- 7) 渋谷大地, 金利昭: 「自転車走行空間に係わる三つの評価手法の適用性に関する研究-BCC・満足度評価・ストレス計測手法の比較-」土木計画学研究発表会・講演集, Vol.45(309), 2012.

(2013.?.?受付)