

# 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\*

## Basic Study on the Evaluation of Bicycle Road Space Environment from the Viewpoint of the Stress Measurement Using Heart Rate Variability Analysis \*

中島豪太\*\*・金利昭\*\*\*・鹿島茂\*\*\*\*

By Gota NAKAJIMA\*\*・Toshiaki KIN\*\*\*・Shigeru KASHIMA\*\*\*\*

### 1. はじめに

近年、多様化する交通手段の中でも注目すべき自転車は、環境負荷の低い交通手段として見直され、健康志向の高まりを背景に、その利用ニーズが高まっている。一方で歩道内での歩行者対自転車の交通事故、放置自転車の増加という負の要因もある。

交通事故対策のひとつとして、警察庁では平成20年6月に道路交通法改正の施行で、自転車が歩道を走行可能な条件を明確にし、以前からの原則であった車道を走行することを再確認した。しかし、自転車が安全に走行できるような環境が整っていないのが現状である。自転車を交通体系の中で重要な交通手段の一つとして位置付けを明確にした上で道路の整備を進めていく必要がある。

警察庁・国土交通省は合同で平成19年に「自転車利用環境整備ガイドブック」を作成。平成20年に今後の自転車通行環境整備の模範となる「自転車通行環境整備モデル地区」を全国で98地区指定した。これから全国で自転車通行環境の整備が活発になると予想されるが、明確な設計基準は存在しない。

これまで道路は交通量を多く、効率良く、また安全に移動させることが主目的で将来予測も踏まえコストを最小にする設計が行われてきた。しかしながら、整備効果を説明する際、社会的・経済環境の変化を踏まえた新たな視点からの機能改善として、道路通行者の移動負担と言えるストレスや移動するということの満足度を交通環境整備における新たな変数として考慮し、自転車交通に限らず全ての交通モードにおいてそのストレスの極小化や満足度の極大化を図ることが重要なテーマになると考えられる。

このストレスの実態については、質問紙などによって主観的・定性的に判断される認知系が一般的で、客観的・定量的な計測手法は確立されていない。従って、ストレスを軽減させるのを主眼とした具体的施策も定量的な事後検証を行えないのが現状である。

そこで本研究の目的は、原則車道走行となっている自転車交通を取り上げ、道路整備効果を評価する指標として生体が受けるストレスに着目し、心拍間隔指標を用いて、自転車走行環境を定量的に評価するために留意すべき変動要因を抽出し、評価指標としての有用性を考察することである。

### 2. 心拍間隔とストレス指標

#### (1) 定量的なストレス計測手法

ストレス計測に関する既存研究では様々な生体情報の活用が試みられている<sup>1)</sup>。中でも、心拍間隔指標であるR波とR波の間隔(RRI)は、測定器の小型化、ポータブル化から比較的簡単に、かつ非侵襲的に測定することができ、認知できない刺激に対しても測定できる可能性がある汎用性の高い生理指標であることから、交通計画分野においても定量的ストレス指標として活用が期待できると考えられる<sup>2)-3)</sup>。使用した測定器は「被験者の腰部などにベルトで固定して使用するコンパクトな装置で、心拍数、傾斜及び加速度を測定し、一定の時間間隔でメモリーに記憶する。またイベントスイッチを押すことにより、その前後30秒間の心電図波形をメモリーに最大4回まで記憶することができ、記憶したデータをパーソナルコンピュータに取り込んで色々な処理ができる。(アクティブトレーサー取り扱い説明書より引用)」またRRIは自立神経系である交感神経と副交感神経の活動を反映し、交感神経からはノルアドレナリンが分泌され、心臓活動を促進させることで体を活性化させる。副交感神経からはアセチルコリンが分泌され、逆に心臓活動を抑制的に作用させることで体を休息させる。しかし両者は一方が働けば一方が休むといったものではなく、常にある程度の興奮を持続していて、一方だけの活動でも心臓活動を促進させたり抑制させたりする。交感神経は激しい運動などで活発に働くが、安静時に近い状態ほど副交感神経が主

\*キーワード：歩行者・自転車交通計画、ストレス計測、道路評価、コンパティビリティ

\*\*正員、東京都都市整備局

\*\*\*正員、工博、茨城大学工学部都市システム工学科

(茨城県日立市中成沢町4-12-1、

TEL:0294-38-5171、E-mail:tkin@mx.ibaraki.ac.jp)

\*\*\*\*正員、工博、中央大学理工学部土木工学科

で心臓活動を促進・抑制させている。外部刺激により、神経活動のバランスが乱れると、心拍数は上昇し、RRIが短くなると言われている<sup>1)</sup>。

RRIの変動要因には、呼吸や概日周期などのような恒常的な要因、運動などの体を動かすことによる身体的負荷、不安や不快などの外部刺激による心的負荷の3つが主にあると考えられる。外部刺激による生体変化や反応をストレスと呼び、そのストレスの要因をストレッサーと呼ぶ。

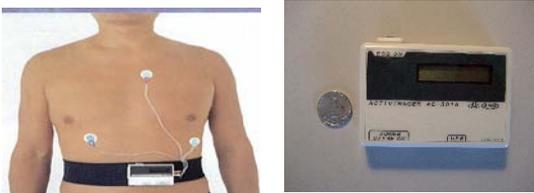


図-1 測定装置

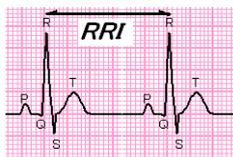


図-2 RRI概念図

### (2) ストレス指標

既存研究より<sup>3)</sup>、ストレスの平均的な強度を示す指標として、①RRIの中央値 (RRI (M))、ストレスの総量を示す指標として、安静時や自転車運動時をベースラインに採用しRRI (M) との乖離幅を②ストレス量、ストレス量を時間積分して得られる③ストレス総量の3つのストレス指標を使い、公道での区間毎などで比較を行う。また、同時に④消費カロリーを算出し、運動強度や運動量を示す指標として有用性を検討する。

### (3) 研究の位置づけ

松田ら<sup>2)</sup>は、心拍の変動を周波数解析することによって得られるPSD (Power Spectrum Density) 値をストレス指標として、自転車走行環境の評価に関する実験的研

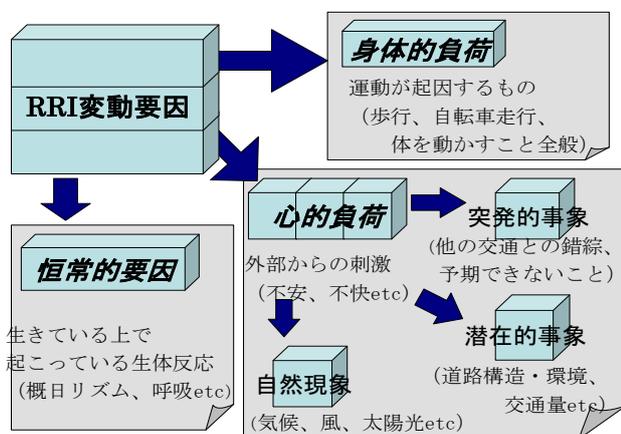


図-3 RRI変動要因

究を行っているが、普通自転車と電動アシスト自転車とを比較した際、明らかに後者のストレスが少なく、自転車運動による影響が考慮されていないと言わざるを得ない。これはストレス要因が外部刺激ではなく、運動による身体的負荷の可能性があり、加速・減速、運動負荷の条件を整える必要があると考えられる。

鹿島ら<sup>3)</sup>は運動負荷のかからない公共交通や自動車運転によるストレス計測を実施しており、ストレス計測手法や分析方法で大いに参考になる。

既存研究とブレインストーミングにより抽出したところ、RRIの変動要因を図-3のように分類できた。本研究では、恒常的に存在する要因については全体像を掴むに留め、まず自転車運動による身体的負荷の影響を把握する。その上で、日常的な自転車運動を想定した公道においての測定を行い、自転車走行環境に潜む、突発的・潜在的ストレッサーを抽出する。

表-1 生体反応測定項目と影響要因

RRI変動要因 測定項目	恒常的要因	身体的負荷		心的負荷
	恒常的要因	運動	自然現象・屋外環境	潜在的・突発的事象
安静時	○	×	×	×
エアロバイク	○	○	×	×
回送運転	○	○	○	×
公道運転	○	○	○	○

(○ : 影響あり × : 影響なし)

## 3. 自転車運動が及ぼす身体的負荷

本章は公道での心的負荷の影響を知るために、運動による身体的負荷の影響の条件を統一する基礎的なRRI計測を目的としている。

### (1) 実験方法

被験者を選定する際、性格が少なからず影響する<sup>2)</sup>ことから、「自動車運転適正診断心理テスト」<sup>4)</sup>を実施した。この診断は攻撃性、情緒薄弱性、衝動性、虚栄心、神経過敏性、自己中心性の6つの視点から被験者の性格を評価するものである。学生9人の中で神経過敏性の評価が高い学生N, S、低い学生Iに着目し、被験者とした。

そして安静時、エアロバイク運動、電動アシスト自転車を用いた回送運転 (外部からの刺激のない理想的な道路条件で、実際の電動アシスト自転車による運転) でのRRI測定を行った。エアロバイクについては、①30分間運動を続ける30分走 (20W、40回転/min)、② (5分運動—2分休憩) ×6セットを行うインターバル走 (20W、45回転/min)、エアロバイク運動との差異を見るため③回送運転インターバル走 (40回転/min) を行った。

表-2 テスト受験者属性

	N	I	HA	SI	S	OO	IT	KI	NE
年齢	22	23	22	23	22	22	22	27	22
性	男	女	男	男	男	男	男	女	男
免許有無	○	○	○	○	○	○	○	○	○
自転車保有	○	○	○	○	○	×	○	×	○
自転車事故	×	○	×	×	×	×	○	×	×
運動経験	高:野球	大:サッ カー	高:サッ カー	高:陸上 長距離	高:バス ケット	大:バレ ーボール	高:サッ カー	大:バス ケット	高:剣道

表-3 テスト結果

	N	I	HA	SI	S	OO	IT	KI	NE
A 攻撃性	▲	▲	◎	△	△	△	◎	▲	△
B 情緒薄弱性	△	▲	△	△	△	△	△	△	△
C 衝動性	△	▲	◎	△	△	△	△	△	▲
D 虚栄心	△	▲	◎	△	△	△	●	▲	△
E 神経過敏性	◎	×	△	△	◎	△	△	△	△
F 自己中心性	△	×	△	△	△	△	△	△	△

(●:かなり高い ◎:高い ○:少し高い  
△:普通 ▲:少し低い ×:低い)

(2) 検証結果

学生Nについて、図-4は運動中の単位時間30秒RRI (M) を、図-5, 6は運動中の加速度に関する1分毎と実験別に、回送運転の一部の10秒毎の消費カロリーを示したものである。

自転車運動時は、安静時のRRI (M) (被験者Nは概ね900ms) とは明らかに違う推移を見せ、図-4においては、運動によりRRIが短縮することを確認した。また各運動によって推移域が違うことがわかる。これは運動の種類や負荷の違い、日付の違いの影響だと考えられる。それぞれを二次の多項式で近似させ、時間経過で見ていくと、20分以上の連続運動を続けることでRRI (M) が下降していくのがわかる。これは連続運動により疲労が蓄積された、単純作業の継続が心的負荷になったと考えられる。一方で休憩を挟んだインターバル走は相対的に安定した推移と考えられる。

加速度カロリーは安静時において70kcal/hで安定しており、図-5, 6では運動開始直後10秒間は150kcal/h程度であるが、すぐに220~250kcal/hの推移となり、運動中は安定している。さらに一定負荷の条件ならばRRI (M) との相関があまり見られないことから、運動の強度や運動負荷を表す指標になる可能性がある。

被験者全員のRRI (M) と消費カロリーを考察すると、個人差が大きい、運動によるRRI変動を確認、時間変動による大きな差が見受けられなかった、運動の種類によって推移が違うなどが考えられる。これらの測定での負荷と時間ならば、大きなRRI変動要因とはならず、休憩を挟むことにより安定した結果が得られると考えられる。

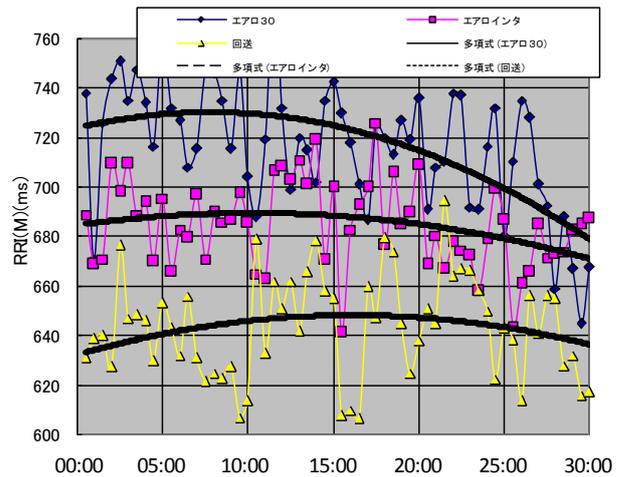


図-4 運動によるRRI変動

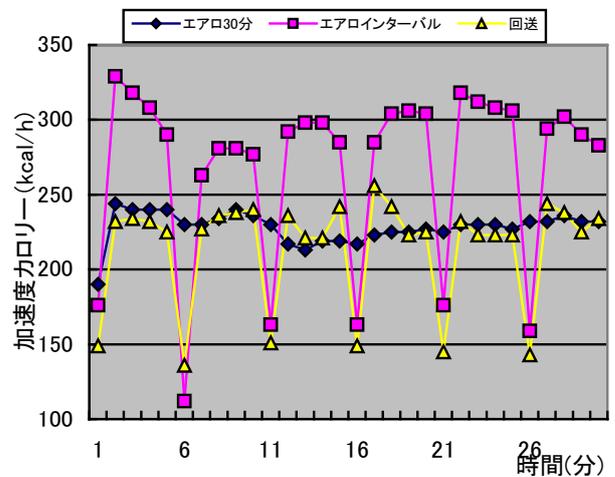


図-5 1分毎加速度カロリーの推移

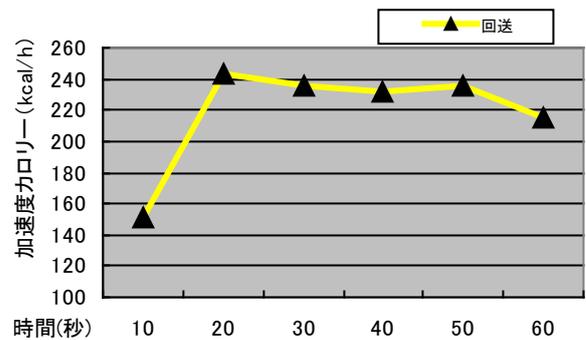


図-6 10秒毎加速度カロリーの推移

4. 公道での潜在的・突発的事象が及ぼす心的負荷

(1) 測定方法

実際の自転車走行を想定し、公道でのRRI計測を実施した連続走とある区間に着目し、車道と自歩道を4セット走行する繰り返し走による計測を行った。走行区間の設定に関しては、道路条件や環境の違う道路を選び、信号などで停止や加速をした区間、勾配がある地点はRRI (M) を算出する際に除いた。区間始終点やイベントの記

録は自転車に取り付けたカメラでの動画撮影により判断した。また前章より、継続運動が及ぼす影響が考えられるので、15分間で1回以上3分間程度の休憩をした。

表-4 連続走測定条件

項目	内容
被験者	健康な学生N (1名)
条件	電動アシスト自転車、約15km/h
測定日	09/02/02~04 (2日はAMのみ)
時間	AM: 11時、PM: 14時
位置	往路: 車道、復路: 自転車歩行車道
距離	片道約5km、30分
区間	区間1~4: 国道6号線 区間5~12: 市道
備考	AMの測定前に安静時計測 PMの測定前に回送運転を計測

表-5 繰り返し走測定条件

項目	内容
被験者	健康な学生N (1名)
条件	電動アシスト自転車、約15km/h
測定日	2008/12/18
走行方法	(歩道→車道→歩道→車道) →3分休憩 →(歩道→車道→歩道→車道)
測定項目	時間
安静時	11時
区間1	13時
区間12	14時
区間10	15時
区間3	16時
回送運転	17時
区間10夜	18時
区間12夜	18時半

表-6 区間の特性

区間番号	道路区分	レーン幅員 (m)	車線幅員 (m)	自動車交通量 (台/15分)	自動車速度 (km/h)	制限速度 (km/h)	大型車 (台/15分)	車とレーンの間隔 (m)
区間1	国道6号	0.5	3.25	159	40.11	50	30	0.80
区間2		0.8	3.25	152	41.22	50	24	0.80
区間3		1.2	3.35	191	47.36	50	24	0.60
区間4		1.2	3.35	191	47.36	50	24	0.60
区間5	市町村道	0	3			30		
区間6		1.5	3	80	46.75	40	5	0.70
区間7		1.5	3	36	36.73	40	6	1.10
区間8		0.5	3			40		
区間9		0.5	3	27	42.4	40	0	1.00
区間10		0	2.75	108	42.28	40	0	0.60
区間11		0.5	3	68	37.2	40	2	0.80
区間12		1	3	72	41.32	40	0	0.80
区間13	駅前通り(歩道)							



図-7 測定区間地図 (出典: google map)

(2) ストレス指標

連続走において、区間毎にRRI (M) を算出し、測定日別に整理した図-8を見ると、測定日により推移域は異なるものの、区間毎の傾向は似ていると考えられる。そこで、測定日ごとに計測してある、安静時と回送運転時のRRI (M) をそれぞれベースラインに設定し、その乖離差をストレス量、ベースラインとストレス量の比をストレス率と定義した。これらをまとめた図-9を見ると、相対的に回送運転をベースに採用した方が日付による差が補正できると考えられる。差か比については大きな差はないため、量と比較しやすい差を算出したストレス量をストレス指標として採用した。

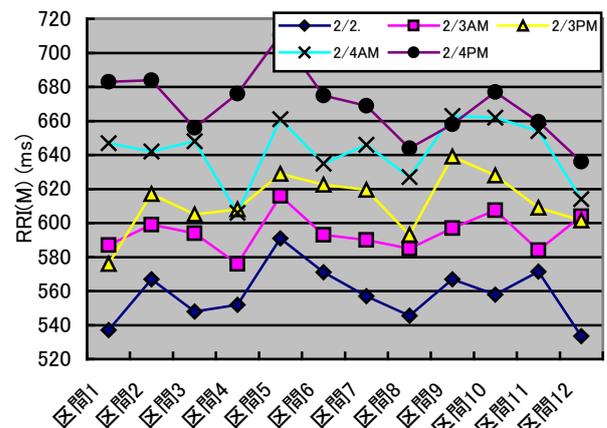


図-8 車道走行時・RRI (M) 推移

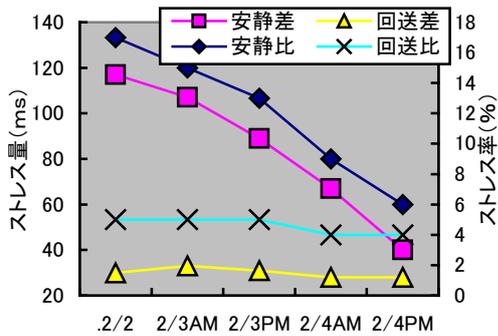


図-9 車道走行時・ストレス指標の比較

(3) 連続走における自転車通行帯別ストレス比較

通行帯別にストレス量を算出した図-10を見ると、概ね区間1~4の国道では車道走行が、区間8~10の市道では自転車歩行者道（自歩道）のストレスが相対的に高いと考えられる。国道においては自動車交通量・速度が、市道においては路面の凸凹や通行帯の幅が主要なストレスサーになっていると被験者は感じている。

加速度カロリーについて示した図-11を見ると、区間10~12の自歩道を除けば、通行帯による差は少なく、区間推移も安定している。区間8, 10の自歩道と区間12の車道は路面が凸凹であり、その程度を示していることを示唆している。

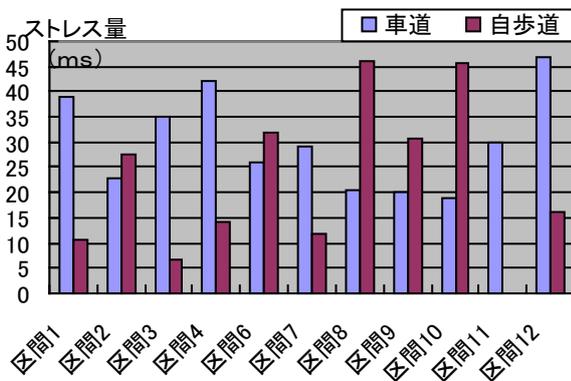


図-10 自転車通行帯別ストレス量の比較

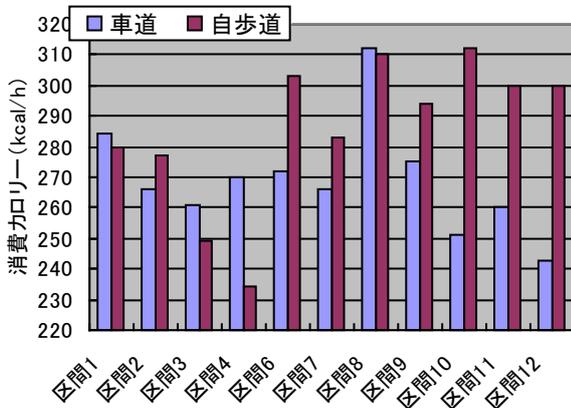


図-11 自転車通行帯別加速度カロリー

(4) 連続走におけるストレス総量の比較

車道・自歩道走行のストレス量を積み上げたストレス総量について示した図-12を見ると、車道走行は自歩道走行の約1.4倍であることがわかる。被験者が車道走行自体に慣れていない可能性もあるが、日常の通行帯選択が合理的であることを支持した。

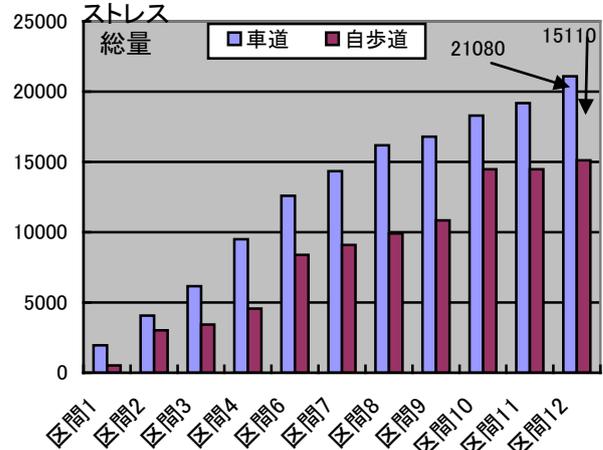


図-12 自転車通行帯別ストレス総量

(5) 定性的評価の比較

石岡<sup>5)</sup>は茨城大学工学部都市システム工学科の学生で自転車に乗りなれている者8名を対象に車道での自転車走行について、走行区間の路側帯の幅、車の速度、車の交通量、大型車、総合満足度を基準地と比較して評価をする定性的な満足度評価を行った。区間12の自歩道を基準地として10点満点に定め、『走りたい』と思うものを高得点、『走りたくない』と思うものを低得点として採点するようにした。なお、評価から路面凸凹、沿道風景、路上駐車、道路勾配は除外して満足度を評価した。設定した区間はすべてではないが、本研究で扱った区間と同じ道路を対象としている。

走行位置は原則として路側帯で、同じルートを10回走行し、十分に慣れた状態まで走りこんだ上で、1,5,10回目に満足度評価をした。

図-13はこの満足度と本研究のストレス量を比較したものである。部分的には相関が見られるが、全体では相関が見られなかった。満足度評価と生理的評価の間に差異がある原因を考察した結果、満足度評価には制約があり路面の状態や景観を考慮していない、満足度評価が相対的な評価となっている、意識できないストレスを生理的に感じた、などが考えられる。

今後は、意識的なものと生理的なものとの差異のギャップを無くす絶対的な満足度評価の方法に関する、単純化した実験における生理的評価にてギャップの生じた原因を解明することが課題である。

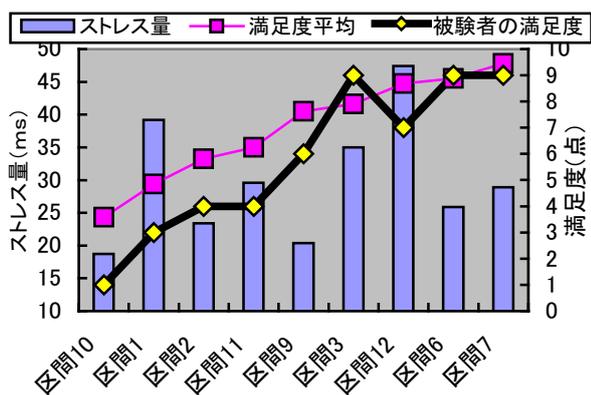


図-13 定性的満足度とストレス量

(6) 走行方法による比較

連続走の測定日の回送運転は夕方となり、それまでの測定の疲れや概日周期の影響、薄暮れが起因したためかRRI(M)は低い推移にあった。ゆえに推移が安定しておりRRI(M)が一番高かった区間3の歩道走行をベースラインに採用しストレス量を算出した。

図-14, 15に示した連続走と繰り返し走とを比較すると、繰り返し走にて国道の区間1では車道でのストレスの残存が歩道走行で現れると考えられる。国道の区間3では連続走において区間1, 2でのストレスの残存があると考えられる。また、市道の区間10, 12では測定方法による差異は小さいと考えられる。ゆえに連続走はネットワーク全体のストレス量計測に適していて、繰り返し走は区間別の固有に持つストレス量計測に適していると考えられる。

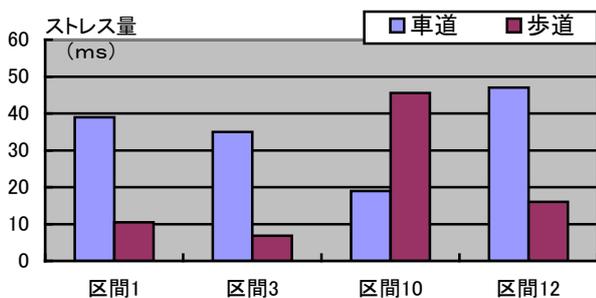


図-14 連続走におけるストレス量

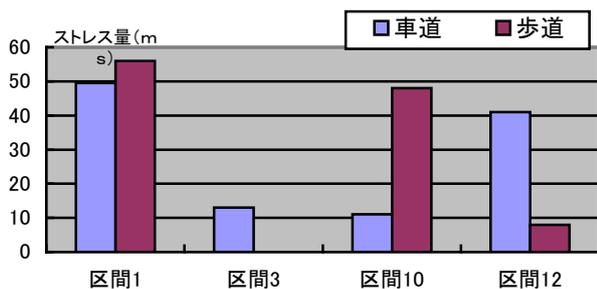


図-15 繰り返し走におけるストレス量

5. 結論

本研究では生理的指標であるRRIを用いて、自転車走行環境を定量的に評価するために留意すべきRRI変動要因を抽出した。その結果、自転車運動による身体的負荷、日変動、道路条件・環境である潜在的な事象、突発的事象が主要要因であることを示した。

潜在的なストレス要因として考えられる道路条件・環境の変化について、車道・歩道のような通行帯によるストレス量の比較をすることで、生理的ストレス指標が定量的道路評価指標になる可能性を示した。

謝辞

本研究を進めるにあたっては、中央大学理工学部土木工学科4年岩月君(当時)より多くの助言を頂いた。帰して感謝する。

なお、本研究は科学研究費補助金(基盤研究(B)(課題番号20360227))の助成を受けて実施した。

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) 松田和香, 竹林弘晃, 砂川尊範, 新田保次「(146)心電図トランスミッタを活用した自転車走行空間の実験的評価」第37回土木計画学研究発表会・講演集 Vol. 37(2008)
- 3) 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 pp47-53(2009)
- 4) 自動車運転適正診断心理テストホームページ、<http://car.sinritest.com/>
- 5) 石岡利江子「自転車利用者の意識調査による自転車通行環境の評価」茨城大学工学部都市システム工学科卒業論文(2009)