

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基礎的研究*

Basic Study on the Stress Measurement of Bicycle Road Space Using Heart Rate Index *

渡辺和憲**・金利昭***

By Kazunori WATANABE**・Toshiaki KIN***

1. はじめに

環境問題に対する意識の向上、健康志向の高まりを背景として、近年自転車利用者が増加傾向にある。このことから、自転車利用者にとって安全・快適である空間の確保を目指した走行空間の整備が全国的に進められている。

自転車の走行空間は一部の例外を除き車道が原則であるが、原則を無視し歩道を走行する自転車は少なくない。このような通行帯選択を説明する仮説として、通常これまでは効用最大化や満足度最大化を仮定し、その説明要因として施設現況や交通状況、個人属性が用いられてきた。本研究では、新たな仮説としてストレス最小化を仮定する。すなわち自転車通行帯選択において、人々はストレスを最小化する通行帯を選択するあるいはストレスを最小化する施設整備が良いと評価するものである。

ストレス計測に関する研究は、医学・心理学分野をはじめとして多くの分野で進められている。その手法としては、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いる。特に近年では、生体反応の指標の1つである心拍間隔（以下、RRI）を計測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。しかし交通分野におけるストレス研究は極めて少なく、運動負荷が強く影響する交通ストレスの計測手法は未確立と言ってよい。

そこで、本研究では、以下2点を目的とする。

①自転車利用者が被るストレスを計測する手法を構築するために、様々な条件下で生体反応指標の1つであるRRIの変動を分析し基礎的知見を蓄積する。

②現在整備が進められている新しい自転車走行空間を走行することにより自転車ストレスを計測し、通行帯選択の現況とその原因を特定することによりストレス計測手法の可能性を確認する。

*キーワード：歩行者・自転車交通計画、交通環境

**学生員、茨城大学大学院理工学研究科都市システム工学専攻
(茨城県日立市中成沢町4-12-1、TEL:0294-38-5177、
E-mail:10nm818t@hcs.ibaraki.ac.jp)

***正員、工博、茨城大学都市システム工学科

2. RRIを用いたストレス計測の考え方

(1) ストレス計測手法の概要

RRIは図-1に示すように心電図に現れるR波とR波の間隔であり、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、安心や快適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。この考え方より、RRI変動を分析することでストレスを計測することが可能となる。

また、RRIは他の生体反応指標と比較すると、図-2のAC-301Aアクティブトレーサーに代表されるように計測機器が小型であり、計測が比較的容易であるという利点を持っている。そのため、多くの研究でストレスを計測する生体反応指標として用いられている。

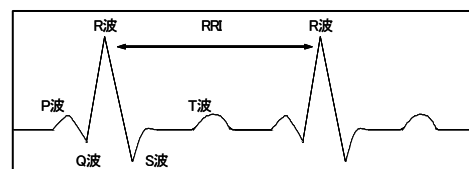


図-1 RRI概念図



図-2 RRIの計測機器[出展：株式会社GMS HP]

(2) 分析方法

本研究では、RRIと単位時間におけるRRIの中央値であるRRI(M)の変動に注目し、RRIが高い場合はストレスが低く、RRIが低い場合はストレスが高いとした。また、RRIが減少を示す箇所において変動要因が作用したと分析した。

3. 既存研究の整理

交通工学の分野におけるストレス計測についての既存研究は、自動車乗車時²⁾や鉄道利用時³⁾といった長距離移動に関する研究から始まった。自転車のような短距離移動で、しかも運動が強く作用する交通主体に関する研究は、松田ら⁴⁾、中島ら⁵⁾、鈴木ら⁶⁾の研究があるが、基礎的研究の段階であり、ストレス計測手法は確立されていない。

中島ら⁵⁾は自転車走行時におけるストレス計測についての枠組みを構築し、自転車走行空間のストレスを計測するために用いる生体反応指標として、RRI の可能性を示した。

その中で、RRI の変動は図-3 に示す 3 つの要因が複雑に影響し生じている。1 つ目は生体リズムや体調といった「恒常的要因」、2 つ目は運動によって身体が被る「身体的負荷」、3 つ目は緊張や不安などの精神的な負荷といえる「心的負荷」である。3 つの変動要因の中で一般的にストレスと表現されるのは心的負荷であるため、RRI 変動から恒常的要因と身体的負荷により生じる変動を除去することで、心的負荷による変動であるストレスの計測を行っている。この際、自然現象を考慮し、道路交通状況の物理的評価は、交通の潜在的な事象と突発的事象がもたらすストレスとされる。

しかし、恒常的要因、身体的負荷が RRI 変動に与える影響についての知見が不十分であるという課題がある。

そこで、本研究では、まず恒常的要因と身体的負荷が RRI 変動に与える影響を捉えた上で、自転車利用者のストレス計測を施行する。

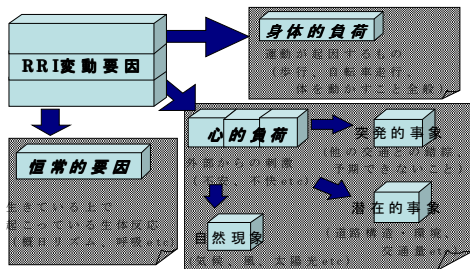


図-3 RRI の変動要因[出典：中島ら⁵⁾]

4. 変動要因毎のRRI変動の調査

本研究における調査は、健康状態が良好な大学生男性 1 名を被験者とし、AC-301A アクティブトレーサーを用いて計測を行った。

(1) 生体リズムと飲食による RRI 変動

a) 調査概要

人間の心拍の速さは 1 日の中で変化することが知ら

れており、夕方に最も速い速度を示し、午後 3 時頃に最も遅い速度を示す。これは恒常的要因に含まれる生体リズムとも表現される。生体リズムによる変動が大きいのであれば、自転車走行時の RRI 変動が生体リズムによるものなのか、ストレスによるものなのかを判断できない。そのため、他 2 つの要因が作用しない状況で生体リズムの影響を調査する必要がある。

また、人間の生活には身体的負荷に相当する飲食が欠かせない。しかし、飲食が RRI の変動に与える影響については確認されていない。そのため、調査が必要となる。

静かな部屋において、椅子に座った体勢を 10 分間保ち RRI 変動を計測した。1 日における RRI の変動を計測するため、2009 年 10 月 3、4、11 日の 3 日間 8~16 時まで 1 時間おきに調査を行った。また、飲食による影響を確認するため、2009 年 11 月 15、28 日の 2 日間、12 時に飲食を行い同様の調査を行った。

b) 調査結果

生体リズムを確認するための調査を行った RRI 変動の結果を図-4 に示す。なお、図-4 は計測した 1 時間毎の 10 分間 RRI (M) のデータを記している。

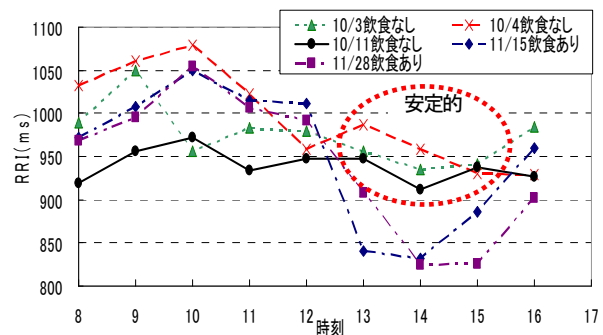


図-4 生体リズムと飲食による RRI 変動

全調査日において、日付、計測時刻毎に RRI が変動しており、午前と午後とを比較すると午後のデータが安定していることがみとれる。これは、生体リズムによって 1 日の中での RRI は変動するという既存の知見と一致している⁷⁾。また、11/15、11/28 の結果より 12 時に昼食をとった後に RRI が減少していることがわかる。これは、食べ物を消化することが身体的負荷として作用したためだといえる。このことから、飲食と日付、計測時刻の違いが RRI の変動に影響するため、RRI 計測を実施する際には、日変動や日内変動、飲食による変動を最小限にするために、実験時刻と飲食の条件に注意し、安定した値をとる午後 1~3 時に飲食を行わず調査を行う方が良いと考えられる。

(2) ペダリング運動負荷による RRI 変動

a) 調査概要

自転車は人間の運動を力に変えて前進する乗り物であり、運動をすることで心拍が速くなるというのは周知の事実である。そのため、自転車特有のペダリング運動負荷がRRI変動に与える影響を把握することは自転車利用者のストレスを計測する上で重要になるといえる。

ペダリング運動負荷が RRI 変動に与える影響を把握するため、エアロバイクを用いてペダリング運動を行い RRI 変動の計測を行った。具体的には、エアロバイクに座っている状態から、ペダリング運動を行う一連の流れの RRI 変動を計測するという方法をとった。

また、ペダリング運動と実際に自転車で走行する際の走行運動負荷では差異が想定されることから、他の交通の影響を受けない広い道路を自転車で走行する RRI 変動も計測した。この調査では、走行条件と身体への負担がエアロバイクにおける調査と統一されることが重要となるため、表-1 に示す条件に設定し、エアロバイクと同様にサドルに座っている状態からペダリング運動に移る一連の RRI 変動を計測した。この際、a)の調査で得られた結果を踏襲して調査を行った。

表-1 ペダリング運動負荷の調査条件

測定項目	走行条件	使用機器	日程	想定速度
ペダリング運動負荷	負荷40W (平坦な道路)	エアロバイク	2009年 12/8、12/11、12/18	約15kmh
走行運動負荷	他の交通の影響を受けない広い道路	電動アシスト自転車	2010年 1/20、1/21	約15kmh

b) 調査結果

図-5 はペダリング運動負荷と走行運動負荷による RRI 変動の代表的なデータを示したものである。

結果より、ペダリング運動負荷と走行運動負荷の双方においてペダリング運動に移った際に RRI の値が減少していることがわかる。また、ペダリング運動負荷にお

ける減少よりも走行運動負荷における減少の方が大きいことがみてとれる。これは、想定されたとおり運動条件の差異が生じたために引き起こされたと考えられる。

以上のことより、身体的負荷にあたる自転車特有のペダリング運動負荷が RRI を減少させる要因となることがわかった。また、ペダリング運動だけが作用するといえるエアロバイク利用時よりも、多くの外部環境が作用し、身体のバランスをとる必要がある自転車利用時の方が RRI が大きな減少を示したことから、運動の条件により身体的負荷による変動が異なり、運動の条件を揃えることで身体的負荷による変動が一定になる可能性が考えられる。関係性を示すと図-6 になる。RRI は、サドルに座っている状態、ペダリング運動、走行運動という順で低い値を示し、運動の条件を揃えることで運動毎の身体的負荷による変動が一定となる。

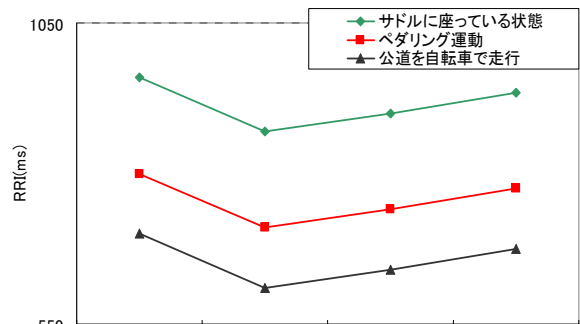


図-6 身体的負荷による RRI 変動の関係性

(3) ペダリング運動疲労による RRI 変動

a) 調査概要

運動を連続的に行うことは身体に疲労をもたらし、均等な力で運動を続けるためには、時間経過と共に徐々に大きな運動を行う必要がある。そのため、自転車においてペダリング運動を連続的に行うことは、疲労が生じるため RRI 変動に影響を与えると考えられる。

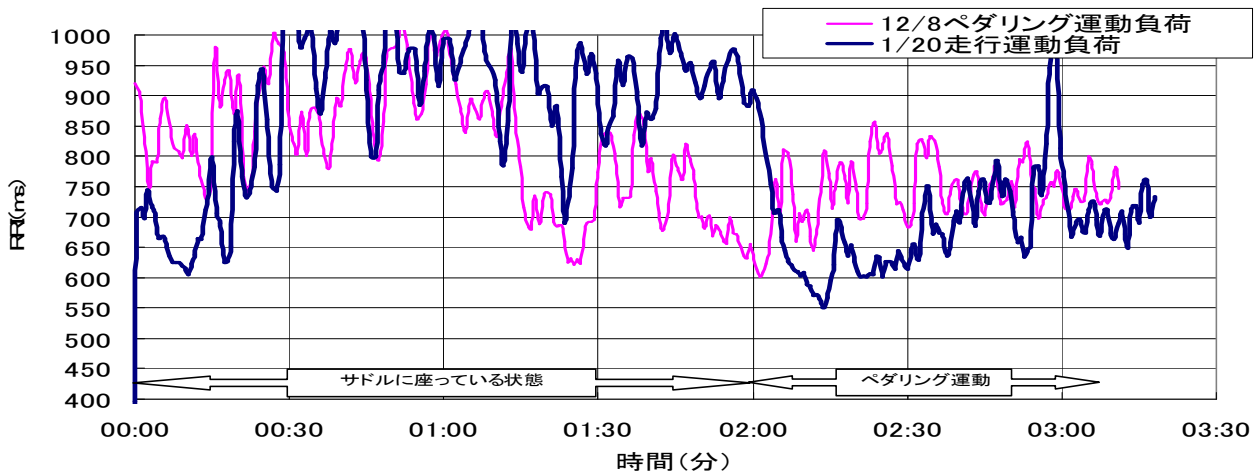


図-5 ペダリング運動負荷による RRI 変動

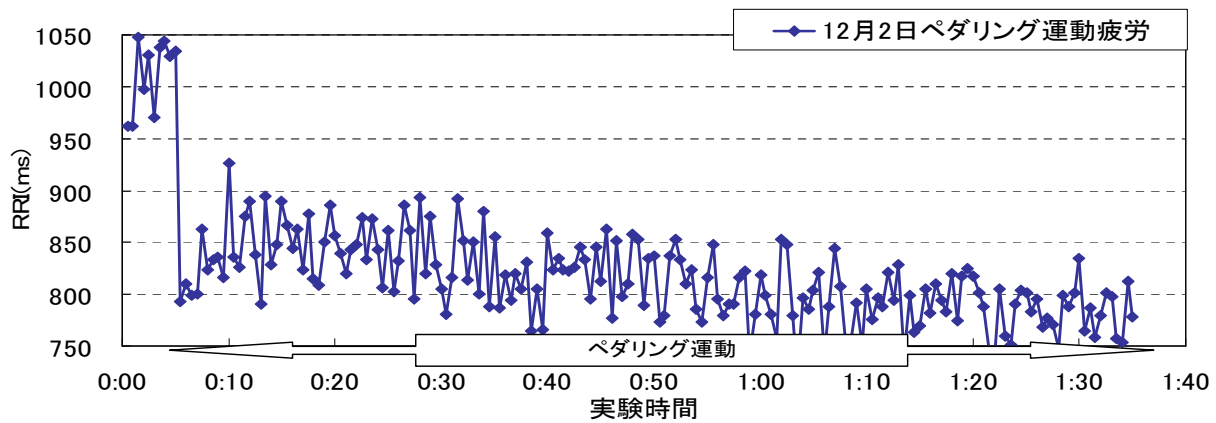


図-7 ペダリング運動疲労による RRI 変動

ペダリング運動疲労が RRI 変動に与える影響を把握するため、エアロバイクを用いて表-2 の条件で長時間ペダリング運動を行い、RRI 変動の計測を行った。計測の方法は b) と同一である。

表-2 ペダリング運動疲労の調査条件

測定項目	走行条件	使用機器	日程	連続ペダリング時間	想定速度
ペダリング運動疲労	負荷40N (平均な道路)	エアロバイク	2009年 10/16、10/19、11/24、12/2	60~90分	約15km/h

b) 調査結果

図-7 はペダリング運動疲労の影響を確認するため、エアロバイクで長時間ペダリング運動実施した結果の代表的な特徴が確認された 12/2 の結果である。なお、図-7 は実験終了までの 30 秒間 RRI (M) を示している。

結果より、ペダリング運動の時間の経過と共に 30 秒間 RRI (M) が徐々に減少を示すことが明らかになった。これは、ペダリング運動を長時間行うことで疲労が生じ、均等な運動を保つために徐々に大きな力が必要となったことを示していると考えられる。また、ペダリング運動開始時の 30 秒間 RRI (M) の減少は、身体的負荷による影響が大きく作用した結果であると考えられる。

長時間ペダリングを続けることは、身体だけでなく、精神に対しても辛いことだと容易に想像できる。そのため、30 秒間 RRI (M) の減少は身体的な疲労と心的な疲労が働いているといえる。

このことから、計測時間が長時間に及ぶと、時間経過と共に、疲労が RRI を減少させ続けるため、計測時間そのものが RRI 変動の主要因にならぬよう配慮しなければならないことがわかる。また、疲労発生前に計測した RRI と疲労発生後に計測した RRI とは、疲労発生後の RRI の方が相対的に減少するため、ストレスとして単純比較することは不可能である。

(4) 自転車速度による RRI 変動

a) 調査概要

自転車の速度を上げる場合は、ペダリング運動を強く行うというように、自転車の速度の違いはペダリング運動負荷と密接に関係していると考えられる。そこで、自転車の速度を変化させることが RRI 変動にもたらす影響を確認した。

公道の直線約 150m を自転車で走行する RRI 変動を計測した。その際、電動アシスト自転車を用いて、アシスト有の 15km/h、アシスト有の 20km/h、アシスト無の 15km/h、アシスト無の 20km/h と条件を変化させ、アシストによる影響も調査を行った。

b) 調査結果

結果をアシストの有無により比較すると、アシスト無の条件であるとき、RRI (M) が低いことがわかる。このことから、アシスト無の条件や一般自転車で RRI を用いた走行空間評価を行うならば、身体的負荷による変動が大きく生じるといえる。また、5km/h 程度の速度の違いであるならば、アシストの有無で速度による影響が RRI 変動に小さな影響を与えるといえる。

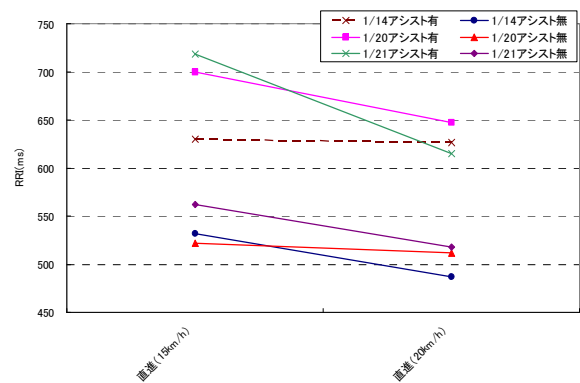


図-8 自転車速度による RRI 変動

5. RRI変動要因の関係

自転車利用者が走行空間を走行している際は、恒常的要因、身体的負荷、心的負荷という3つのRRI変動要因が作用している状態にある。そのため、自転車走行空間の安定的な心的負荷を算出するためには、恒常的要因、身体的負荷によるRRI変動を除去する必要がある、各々のもたらす影響を把握する必要がある。

生体リズム、飲食、ペダリング運動負荷、ペダリング運動疲労、自転車速度によるRRI変動を分析した結果より得られた知見を考慮すると、自転車走行時におけるRRI変動要因は表-3に示す関係があるといえる。

表-3 RRI変動要因の関係

測定項目	恒常的要因	身体的負荷	心的負荷
生体リズム	○	—	—
飲食	○	○	—
ペダリング運動負荷	○	○	—
自転車速度	○	○	—
ペダリング運動疲労	○	○	—
道路交通状況	○	○	○

(○：影響ありとみる —：影響なしとみる)

自転車走行空間の道路交通状況によるストレスを計測する際には、以上の知見を踏まえ調査を行うことが重要になる。

6. 新しい自転車道のストレス計測

(1) 調査概要

新しい自転車道を自転車利用者が走行する際のストレスを計測した。調査は写真-1で示す愛知県名古屋市伏見通りの自転車道が整備されている約500mの区間において、2010年6月5日(晴天)の13~15時に電動アシスト自転車を用いて行った。



写真-1 調査地概要

調査地は、自転車道が整備されているにも関わらず、歩道を走行する自転車が多くみられた。これは、自転車道に存在する障害物やクランクにストレスを受けて自転車利用者が避けているためだと推察できる。

(2) 走行空間のストレス

図-9に自転車道、歩道のRRI変動を計測したものを示す。RRI変動の分析を行うと、自転車道のRRI値が歩道のRRI値よりも相対的に小さい、すなわちストレスが高いことわかる。

図-9においてRRIが減少を示す箇所注目すると、自転車道走行時では自転車道に進入する際のクランク周辺においてRRIが減少していること、また、歩道走行時においてはRRIが減少を示すのは、他の自転車、歩行者と錯綜が生じたところであることから、ストレスを与える要因が断定できるといえる。

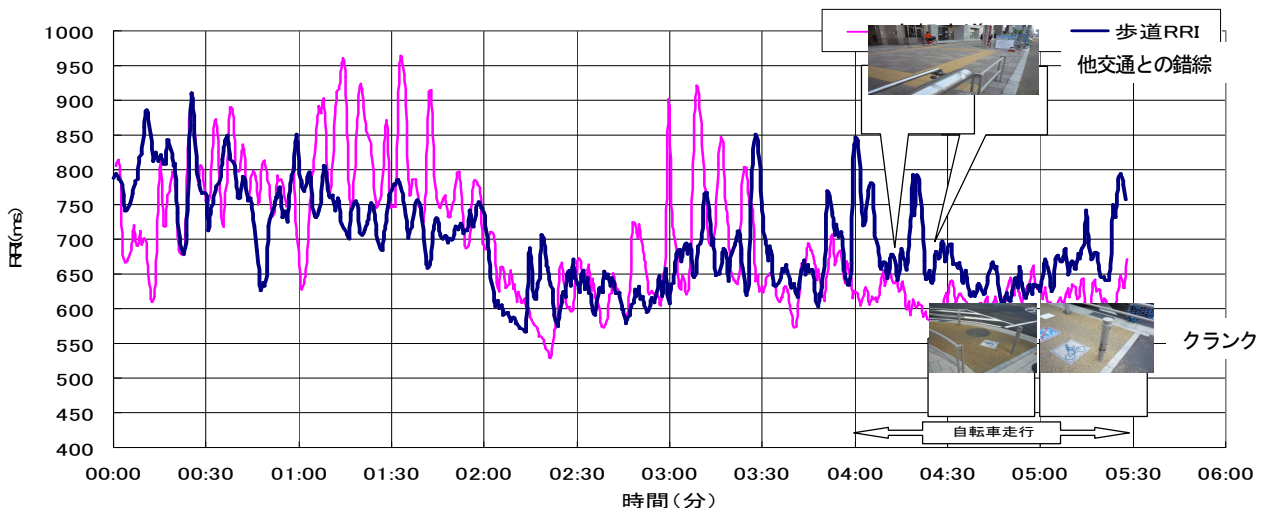


図-9 自転車走行空間毎のRRI変動

備されているにも関わらず、

歩道を走行する自転車が多く確認できており、RRI を用いたストレス計測における自転車道を走行する方がストレスが大きいという結果と一致している。

これらの結果より、本研究で仮定したストレス計測は、実際の自転車利用者の走行空間の選択行動を表現することができているといえる。

7. まとめ

本研究では、ストレスを計測する生体反応指標の 1 つである RRI を用いて自転車利用者が被るストレスを計測する手法を構築するために、様々な条件下で生体反応指標の 1 つである RRI の変動を分析し基礎的知見を蓄積した。

その結果、生体リズム、ペダリング運動負荷等が自転車利用者の RRI を変動させる要因であることがわかった。また、ストレス発現箇所を把握することが可能であったが、ストレス計測の際、RRI 変動をもたらす要因の影響を考慮しなければならないという注意事項が存在することがわかった。

本調査では、被験者が 1 人であったため、データに偏りがみられる可能性が存在する。そのため、多くの被験者で同様の調査を行いデータを蓄積していくことは課題であるといえる。今後の展望としては、同様の調査を子供、年配者など様々な被験者において行い、自転車利用者のストレス計測における知見を増やすことが必要だと考えられる。

謝辞

本研究をまとめるにあたり、日本交通政策研究会ストレス計測プロジェクトメンバーの助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

本研究は、科研費補助金、基盤研究 (B)、課題番号 (20360227) の助成を受けて進めた。

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) 岩倉成志, 西脇正倫, 安藤章: 長距離トリップに伴う運転ストレスの測定—AHS の便益計測を念頭に—, 土木計画学研究・論文集, Vol. 18 no. 3 pp. 439 -444, 2001
- 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 pp. 47 -53, 2009
- 4) 松田和香, 竹林弘晃, 砂川尊範, 新田保次: 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,

- 土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 37 (146), 2008
- 5) 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
- 6) 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