

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

今村 友弥¹・坂本 将吾²・鹿島 茂³

¹学生会員 中央大学大学院理工学研究科博士課程前期課程（〒112-8551東京都文京区春日1-13-27）

E-mail:imamura@civil.chuo-u.ac.jp

²正会員 中央大学理工学部都市環境学科 助教（〒112-8551東京都文京区春日1-13-27）

E-mail: s-shogo@civil.chuo-u.ac.jp

³非会員 中央大学理工学部都市環境学科 教授（〒112-8551東京都文京区春日1-13-27）

E-mail: kashima@civil.chuo-u.ac.jp

自動車運転時に運転手が感じるストレスの要因として交通量や道幅を考え、交通量が多く道幅の広い幹線道路と、交通量が少なく道幅の狭い支線道路を運転している時の心拍変動を心拍計を用いて、運転時の状況をドライブレコーダーを用いて計測した。計測したデータから、中央値とストレス量と重回帰分析を用いて分析を行い、道路の形態などの走行環境がストレスに与える影響を定量的に比較した。その結果、停車中が最もストレスを感じにくく、道路の形態はルートの中で最も長く走行している道路形態がストレスを最も感じにくいことがわかった。また、車線変更と追い越しは幹線道路でストレスに影響を与え、歩行者などの外的要因は支線道路でストレスに影響を与えることがわかった。

Key Words : Heart Rate, Mental Workload

1. はじめに

自動車運転時には走行環境の変化によってストレスを被り、場合によっては交通事故につながることもある。

ストレスの影響については、アンケート調査などの意識調査で表される場合が一般的であるが、こうした調査は、回答者の主観が入り込み、客観的な評価が難しい。これに対し、人が感じているストレスを定量的に計測する方法として既往研究では様々な生体情報の活用が試みられている^{1)~3)}。

本研究では、ストレスの指標として医学的研究においても広く活用されており、計測装置の小型化・可搬化により非侵襲的に計測することが可能な心拍変動を用いる。先行研究では、栗谷川ら⁴⁾は自動車がカーブを走行時にかかるストレスをカーブの形状によってモデルを構築した。このように距離の短い道路を対象としたストレスのモデルを構築する研究は進められているが、長距離運転時の走行環境の変化に対するストレスを評価する研究は行われていない。

本研究は走行環境が自動車運転時に与えるストレスの

要因を明らかにすることを目的とする。運転時間が長く、走行距離も長い道路を対象に、「交通量が多く道幅が広い道路」と「交通量が少なく道幅が狭い道路」の2つの走行ルートの比較を行う。

2. 方法

本研究では、被験者に心拍計を付け運転し、ドライブレコーダーによって記録されるデータを組み合わせて分析を行っていく。

(1) ストレスの評価手法

ストレスを計測するための生体情報としては心拍、脳波、呼吸、脈波、皮膚温度といったものがある。本研究では胸部に電極を取り付けるだけでなく、計測器によるストレスを感じにくい、心拍変動を用いることとする。心拍変動はストレスに対して反応する機構を担う交感神経と、安静時に逆の働きを担う副交感神経の相反する2種類の自律神経の活性度合いを反映する。このため、心

拍間隔RRI(R-R Interval)は、被験者が受けているストレスと密接な関係をもつこととなる。具体的には、RRIは人間がストレスを受けることにより短くなる。

(2) RRIを用いたストレス指標

心拍計からRRIの時系列データを得ることができる。そのRRIから得られる定量的指標には様々な指標がある。本研究では、表-1に示す、ストレスによる負荷の平均的な強さを表すRRIの中央値と、一定時間やある区間のストレスの量を表す指標³⁾を用いることとする。

(3) ドライブレコーダーから得られるデータ

ドライブレコーダーから得られるデータは、車両速度と走行時の映像である。車両速度は1sec間隔で得られることができる。また、走行時の映像から、表-2に示すように走行環境のデータを作成した。本研究では、表-2に示すデータを用いて分析を行っていく。

(4) RRIデータの扱い方

本研究では以下の2つの方法を用いてデータを作成していくこととする。

a) 一定時間に区間分けする方法

RRI データとドライブレコーダーのデータの時間軸を合わせるために、RRI データを等間隔にする必要がある。そこで、心拍計から得られた RRI データを数値の大きさ分 0.1sec ごとに羅列する。ドライブレコーダーのデータも同様に 0.1sec ごとに記録する。それを 1sec 間隔にまとめ、それぞれの 10 データの中央値を 1sec の RRI 代表値とする。

b) 走行環境別に区間分けする方法

0.1sec間隔のデータを、5つの走行方法において、道路形態、車両操作、外的要因ごとに区間分けを行う。作成例を図-1に記す。この時、RRI代表値は区間ごとの中央値とする。

(5) RRI中央値を用いた分析

走行環境別にストレス要因の平均的な強さを示すために、RRIの中央値を用いて比較を行った。走行方法別・道路形態別・車両操作と外的要因の有無の3種類を幹線道路と支線道路それぞれで比較を行う。

(6) ストレス量による比較

走行環境別にストレス量(1)式)を求め比較を行う。ストレス量を算出する方法は、ある基準値とRRIの差分を走行環境別に累積する⁵⁾。本研究では基準値として、計測値の上5%をノイズと仮定して、幹線道路と支線道路それぞれのRRIデータの95%値を用いることとする。また、各走行環境の時間幅に違いがあるため、1分当たり

のストレス量を用いて比較を行う。

$$S = \frac{\sum (R_B - R_t)}{T} \quad (1)$$

S : 1分当たりのストレス量

R_B : 基準値 (RRIの95%値)

R : RRI

T : 合計時間

表-1 RRIから得られるストレスの指標

指標	定義	ストレスの影響
RRIの中央値	一定時間や区間のRRIの中央値	「数値が小さくなる」＝「ストレスを感じている」
ストレス量	あるベースラインとRRIとの差分を累積した値	「数値が大きい」＝「ストレスを感じている」

表-2 ドライブレコーダーの映像から作成したデータ

走行方法	停止	時速0km
	加速	同じ速度が3秒以上続く手前まで
	減速	停止から数えて同じ速度が3秒以上続く手前まで
	徐行	時速5～11km
	走行	加速と減速の間
道路形態	単路小	中央帯なし
	単路中	片道1車線
	単路大	片道2車線以上
	合流	合流車線が増えた地点から一つの車線になるまで
	交差点	交差点前の横断歩道から交差点出口の横断歩道まで
	踏切り	踏切前の停止線から踏切出口の対向車線の停止線まで
車両操作	車両操作を「車線変更」と「追い越し」とする	
外的要因	外的要因を「右折待ちの対向車」と「他の車に追い越しされる・自車の走行する車線に車線変更される」と「片道1車線以下の道路を通行している歩行者と自転車」とする	

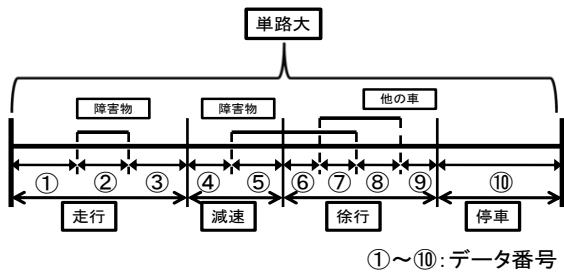


図-1 走行環境別に区間分けする方法の例

(7) 重回帰モデルの構築

ストレスは様々な走行環境の要因が組み合わさって影響を受けると考えられる。そこで、重回帰分析を行うことで、RRI と走行環境のモデルを構築する。本研究では、被説明変数を RRI の中央値と RRI の差分(2式)とする。これにより、ストレスを感じている時は符号が負と表すことができる。重回帰モデルは(3式)のように表される。

$$y = R - R_M \quad (2)$$

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n \quad (3)$$

R : RRI

R_M : RRIの中央値

a_0 : 定数項

a_n : 回帰係数

x_n : 速度および走行環境

ここで、走行方法、道路形態、車両操作、外的要因それぞれダミー変数とする。また、重回帰モデルは1 sec 間隔のデータと走行環境別に区間分けしたデータを用いてそれぞれ重回帰分析を行う。

3. 実験概要

本研究では、走行環境の違いがストレスに与える影響を定量的に表すことを目的としているため、交通量が多く道幅が広い「幹線道路」と、交通量が少なく道幅が狭い「支線道路」の2種類のコースを計測する。どちらのコースも出発地点を金町駅周辺とし、到着地点をお花茶屋駅周辺とする。幹線道路は国道6号線沿いの約6.7kmとし、支線道路は常磐線沿いの道路の7.7kmとする(図-2)。

計測する際に被験者に心拍計(POLAR社RS800CX)を装着し、自動車にドライブレコーダー(あきば商会Drive Recorder MU-04)を搭載し計測を行った。心拍計からRRIデータを、ドライブレコーダーから車両速度と走行時の映像を記録する。計測回数は幹線道路と支線道路それぞれ

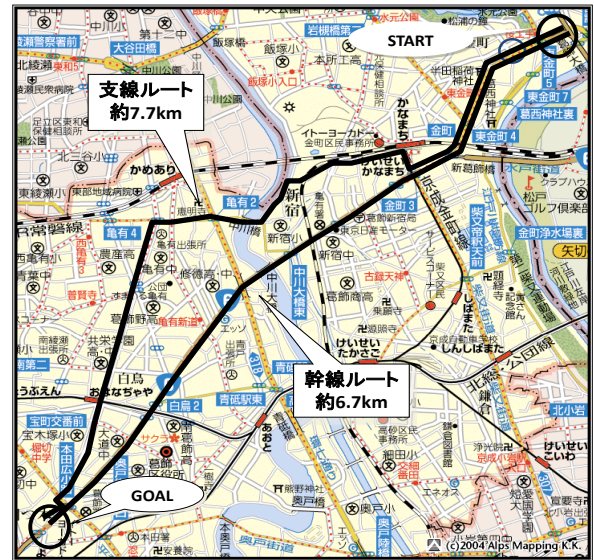


図-2 実験コース

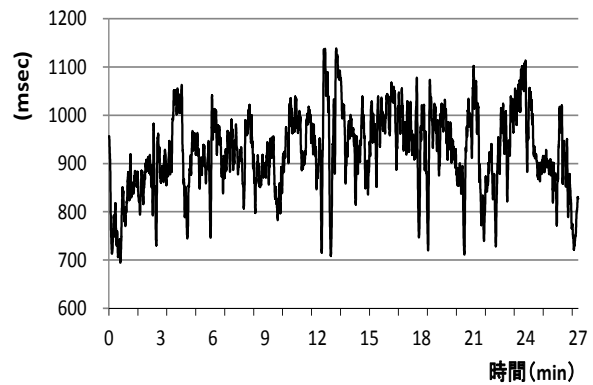


図-3 幹線道路のRRI計測結果

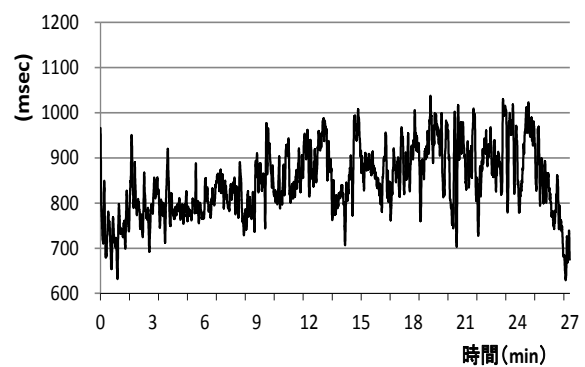


図-4 支線道路のRRI計測結果

1回計測した。被験者は22歳の学生とし、同乗者をつけず、車内では最小限の動作のみを行動をすることとした。RRIの計測結果を図-3と図-4に示す。表-3に走行方法、道路形態、車両操作、外的要因の所要時間とRRI平均値を示す。

表-3 各走行環境の所要時間とRRI平均値

		幹線道路		支線道路	
		所要時間(分)	RRI平均値(msec)	所要時間(分)	RRI平均値(msec)
全体		27	913.8	27	841.0
走行方法	停止	12.3	941.6	11.9	884.0
	加速	1.7	908.9	1.8	819.2
	減速	1.5	904.8	2.3	827.3
	徐行	2.5	911.9	2.6	827.7
	走行	9.0	910.7	8.4	821.5
道路形態	単路小	1.5	759.3	2.5	781.9
	単路中			15.7	877.9
	単路大	23.7	937.7	3.8	785.4
	合流	0.3	899.7	0.1	843.4
	交差点	1.6	880.4	4.8	847.0
	踏切り			0.1	845.0
	車両操作	1.6	927.3	0.1	871.1
外的要因	0.4	858.5	2.2	810.1	

4. 分析結果

(1) RRI中央値を用いた分析

走行方法別・道路形態別・車両操作と外的要因の有無におけるRRI中央値の比較の結果を図-5から図-7に示す。図-5より走行方法別のRRI中央値は、幹線道路と支線道路どちらも停止している時に比べ、加速・減速・徐行・走行の時のほうが値が下がっていることがわかる。

次に図-6より道路形態別のRRI中央値は幹線道路では単路大、支線道路では単路中を走行時にストレスを感じにくいことがわかる。

最後に図-7より車両操作・外的要因の有無に関する比較では、幹線道路は車線変更などの車両操作がストレスを感じる要因であるという結果となった。また、支線道路は歩行者や自転車などの外的要因がストレスを感じる要因であるという結果となった。

(2) ストレス量による比較

走行方法別・道路形態別・車両操作と外的要因の有無におけるストレス量の比較を行った。分析の結果を図-8から図-10に示す。

図-8より走行方法別の1分当たりのストレス量は幹線道路と支線道路共に、停止している時が最も低く、その他の走行方法は、ほぼ同じ値となった。

次に、図-9より道路形態別の1分当たりのストレス量の比較では、幹線道路では単路大、支線道路では単路中を走行時にストレスを感じにくいことがわかる。RRI中

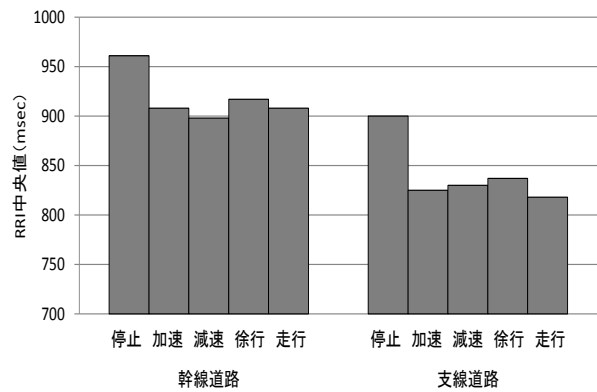


図-5 走行方法別のRRI中央値

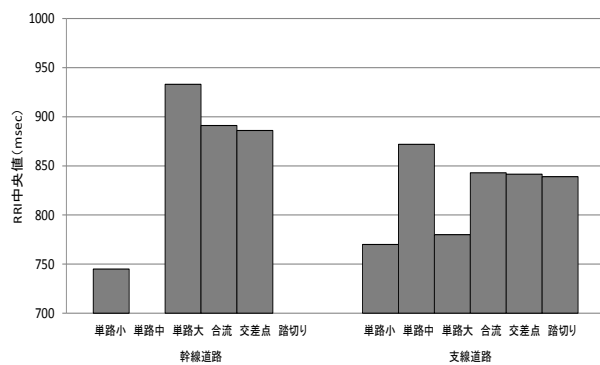


図-6 道路形態別のRRI中央値

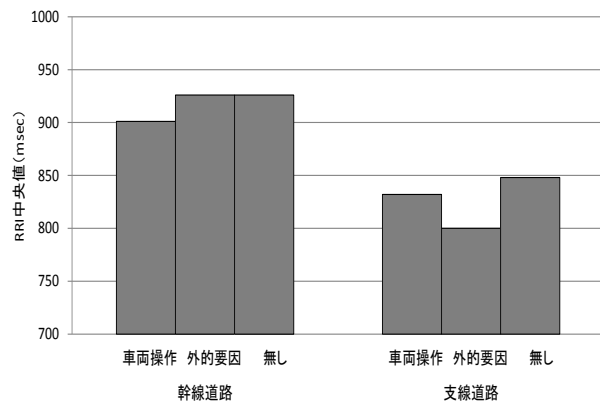


図-7 車両操作・外的要因の有無のRRI中央値

央値の比較と同様、幹線道路と支線道路それぞれのルートにおいて、最も長く走行している道路形態である。

最後に、図-10より車両操作・外的要因の有無に関する比較では、幹線道路と支線道路どちらも外的要因がストレス量が最も多くなるという結果となった。

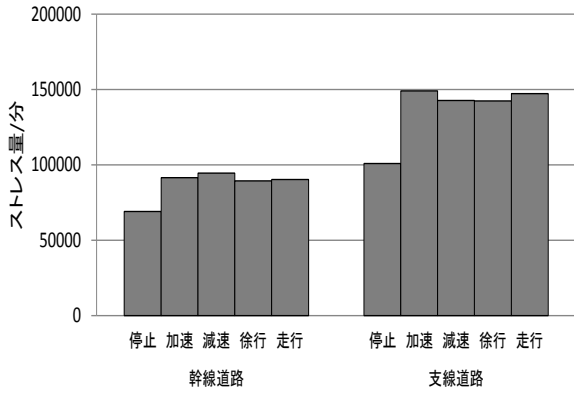


図-8 走行方法別の1分当たりのストレス量

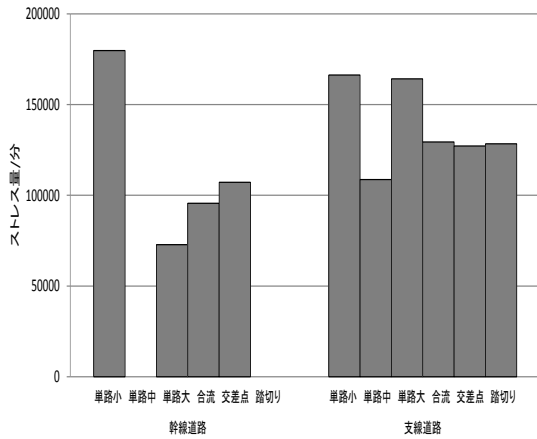


図-9 道路形態別の1分当たりのストレス量

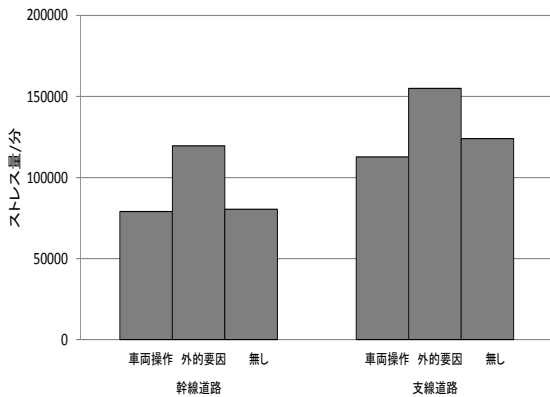


図-10 車両操作・外的要因の有無の1分当たりのストレス量

(3) 重回帰モデルの構築

a) 1sec 間隔データを用いたモデル

1sec 間隔のデータを用いて重回帰分析を行った結果を表-4に示す。これらは係数の符号が負の時、ストレスを感じる要因であることを示している。

表-4より走行方法の係数は幹線道路と支線道路のどちらもほぼ同じ値となった。道路形態については、幹線道

表-4 1sec 間隔データを用いて重回帰分析を行った結果

	幹線道路		支線道路	
	係数	t 値	係数	t 値
切片	-1.42	-0.35	2.74	0.60
所要時間	0.04	8.81	0.06	15.48
速度	0.60	2.03	0.61	2.76
加速	-48.28	-5.06	-65.26	-9.07
減速	-55.18	-5.35	-60.81	-8.21
徐行	-43.04	-6.133	-63.46	-11.82
走行	-62.64	-6.89	-60.90	-7.60
単路小	-148.81	-10.93	-35.13	-5.39
単路大			-54.75	-11.80
合流	-40.90	-1.35	34.90	1.69
交差点	-30.20	-4.01	-10.43	-2.61
踏切り			-26.00	-1.20
車両操作	-27.07	-1.85	39.72	1.36
外的要因	34.80	3.96	-5.73	-0.96

路は単路小が最も大きな値となり、最もストレスを与える要因であると考えられる。支線道路では合流区間を走行中はストレスを感じないという結果となった。車両操作は幹線道路を走行時にストレスに影響を与え、また、外的要因は支線道路を走行時にストレスに影響を与えるという結果となった。また、自由度調整済決定係数に関しては幹線道路では0.22、支線道路では0.45となった。

b) 走行環境別に区間分けしたデータを用いたモデル

1sec 間隔のデータを用いた場合、停止中など走行環境が変わらない状況が一定時間続く場合、説明変数の値が変わらないがRRIのデータは変化している。そこで、走行環境が連続している状況の一つのデータとしてまとめ、そのデータを用いて重回帰分析を行う。データをまとめたことで、データ数は幹線道路は236データ、支線道路は294データとなった。ここで、道路形態の合流はデータ数が1つであったため、単路大に加えて分析を行った。結果を表-5に示す。前述と同様に係数の符号が負の時、ストレスを感じる要因であることを示している。

表-5より走行方法の係数は幹線道路では徐行時のみストレスを与える要因となり、前述の結果と異なる結果となった。支線道路はすべてほぼ同じ値となった。道路形態は幹線道路では単路小が、支線道路では単路小と単路大がストレスの要因であると示された。前述の分析と同様に車両操作は幹線道路を走行時にストレスに影響を与え、また、外的要因は支線道路を走行時にストレスに影響を与えるという結果となった。自由度調整済決定係数は幹線道路では0.27、支線道路では0.28となった。

表5 走行環境別に区間分けしたデータを用いて重回帰分析を行った結果

	幹線道路		支線道路	
	係数	t 値	係数	t 値
切片	9.20	0.48	32.36	2.36
継続時間	0.80	1.61	1.04	2.59
速度	-0.92	-1.43	1.52	3.78
加速	9.83	0.57	-51.76	-3.15
減速	8.98	0.35	-49.59	-2.88
徐行	-10.63	-0.50	-31.51	-2.23
走行	21.20	0.96	-58.82	-3.03
単路小	-204.77	-8.09	-50.16	-5.03
単路大			-77.64	-7.98
合流				
交差点	-33.96	-2.39	-20.95	-2.89
踏切り			-17.07	0.85
車両操作	-13.55	-0.54	8.37	0.17
外的要因	33.48	2.60	-5.47	-0.62

5. 結論

本研究では自動車運転時に走行環境が与えるストレスの要因を明らかにするために、RRIの中央値とストレス量を用いて走行方法別、道路形態別、車両操作・外的要因の有無においてそれぞれ比較を行った。次に、ストレス要因とそれにより生じるストレスを重回帰モデルで表現した。下記に本研究で得た結論をまとめる。

まず、RRIの中央値とストレス量を用いた比較において、走行方法では、車両が停止している時はストレスを感じにくく、発生するストレス量も少ないことを示すことができた。道路形態別の比較では、幹線道路では2車線以上の道路が、支線道路では片道1車線の道路がストレスを感じにくく、ストレス量も少ないことを示すことができた。この結果はどちらも最も長く走行している道路形態であることから、同じ道路形態を続けて走行することがストレスの軽減につながると考えられる。そして、車両操作と外的要因の有無での比較では、ストレスの要因として、幹線道路は車両操作が影響を与え、支線道路は外的要因が影響を与えることがわかった。これは、幹線道路は交通量が多いことが影響しており、支線道路は道幅が狭いことが影響していると考えられる。また、ストレス量の観点からはどちらの走行ルートも外的要因が最もストレス量が多くなることが示された。単位時間当たりのストレス量は外的要因が最も多いことがわかった。

次にストレス要因とそれにより生じるストレスとの関係を表現した重回帰モデルにおいて、1sec 間隔のデータ

を用いた時と走行環境別に区間分けしたデータを用いた時のどちらも回帰モデルを構築した。これにより、幹線道路と支線道路それぞれを走行する時に受けるストレスの要因を表すことができた。ただし、どの回帰モデルも決定係数が小さいモデルとなった。この原因として、RRIは絶えず変動している値に対して、説明変数がダミー変数を多く含んでいることが考えられる。また、RRIの中央値の比較において、ストレスの要因であると示した走行環境が重回帰モデルではストレスの要因ではないと示されたことから、データの扱い方が今後の課題として挙げられる。

参考文献

- 1) 下野太海, 大須賀美恵子, 寺下裕美: 心拍・呼吸・血圧を用いた緊張・単調作業ストレスの評価手法の検討, 人間工学, Vol.34, No.3, pp.107-115, 1998
- 2) 吉田倫幸: 脳波と周波数ゆらぎ計測と感情評価, 日本機械学会誌, Vol.98, No.918, pp.403-406, 1998
- 3) 高津浩彰, 宗像光男, 小関修: 心拍変動による精神的ストレスの評価についての検討, 電気学会論文誌, Vol.120, No.1, pp.104-110, 2000
- 4) 栗谷川幸代, 景山一郎: 心拍変化を用いた人間・自動車・環境系の精神負担評価モデルの構築, 日本機械学会論文集, 71巻, 702号, C編, pp.179-186, 2005
- 5) 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