

心拍間隔指標を用いた長距離運転時のストレス計測実験と解析 - AHSの需要予測にむけて -

Examination of the Stress Measuring on Long Distance Trip using Heart Beat Interval Index

土川奏**・岩倉成志***・安藤章****

By Soh TSUCHIKAWA, Seiji IWAKURA and Akira ANDOH

1. はじめに

AHS aの導入により、交通事故の軽減、渋滞解消、環境改善の効果が期待されている。一方、利用者側の立場に立てば、自動運転化によって運転者の精神的、肉体的負担であるストレスが大幅に軽減されると考えられる。

昨年度、当研究室では、長距離運転時、乗車時のストレス計測実験を行い、長距離運転に伴うストレスの蓄積を確認し、完全自動走行によるストレスの軽減が、交通機関選択行動に有意な影響をもたらすことを報告した¹⁾。しかし、トリップ長の違いとストレスの強さの関係、新幹線等の代替交通機関における乗車ストレスの計測が不十分であった。また、RRIのみの単一指標での解析であったこと、被験者数が不足していたことも課題として挙げられる。

このため、本研究では、長距離トリップに伴うストレスを定量化する方法論を検討するために、以上の課題に対応したストレス計測および分析を行うこととした。昨年度と同様に、データを簡易、かつ連続的に取得できるという点から、ホルター心電計を用いた心拍間隔の計測を行った。加えて一日の周期的な生体リズムの解析や、心拍変動解析ソフトであるカルディナイザーを使用したRRIのスペクトル解析を行い、自律神経の活動を把握することで、ストレス指標としての有用性を分析する。

2. 心拍間隔とストレス指標

図 1 に示すように、心電図に現れるR波とR波の間隔であるRRIが身体的・精神的ストレスの指標

*キーワード：交通手段選択

** 学生員 芝浦工業大学大学院建設工学専攻

(東京都港区芝浦3-9-14,

TEL03-5476-3049, FAX03-5476-3166)

*** 正員, 工博, 芝浦工業大学工学部土木工学科

**** 正員, 工修, (株)日建設計名古屋事務所計画室

になると多くの既存研究で示されている¹⁾²⁾⁶⁾。

RRIは自律神経系である心臓交感・副交感神経の神経活動のバランスを反映している。心臓交感神経は身体的・精神的負荷に対して抵抗するため、体を活性化させる働きを持ち、心臓副交感神経は休息・休養を要求する働きを持つ。身体的・精神的負荷により、心臓交感神経の亢進が起これば、心拍数は増加し、RRIが短縮することから、ストレスを表す指標となる。

自律神経である副交感神経からの刺激は瞬時に心拍に応答し、交感神経からの刺激は緩やかに心拍に応答する。このため、心拍の周期変動の周波数帯には、交感神経、副交感神経を反映する周波数に差が生ずることが知られている²⁾。このような現象を利用したのが周波数解析で、各周波数帯を個別に解析することが可能であり、臨床においても多用されている。

心拍変動の周波帯は低周波LF成分、中間周波MF成分、高周波HF成分の3つの周波数領域に分けられる。一般に低周波LF成分が交感神経を反映し、高周波HF成分が副交感神経を反映しているとされている²⁾。しかし、交感神経を反映するLF成分は心臓交感神経、副交感神経の両者が関与しており、交感神経の活動を独立して評価できていない。従って、

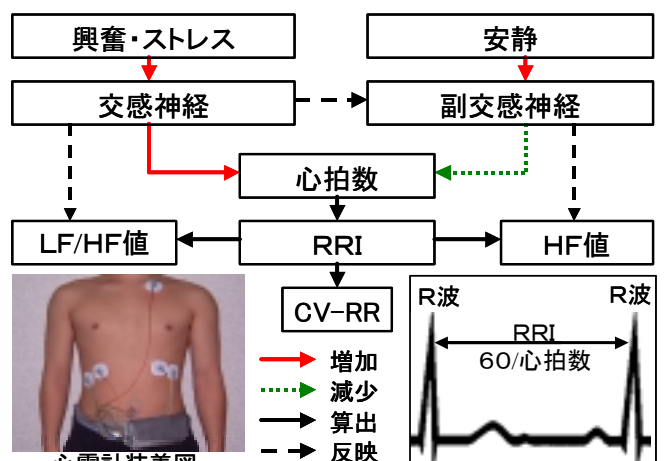


図 1 心拍間隔とストレスの関係

表 1 調査日程

日程	被験者A	被験者B	経由地	日程	被験者A	被験者B	経由地
10月29日	助手席	運転	東京～静岡～東京	11月21日	新幹線		秋田～東京
10月31日	運転	助手席	東京～豊田～東京	12月13日	バス		東京～福岡
11月5日	助手席	運転	東京～豊田～東京	12月15日	バス		福岡～東京
11月7日	運転	助手席	東京～静岡～東京	12月6日	航空機		東京～沖縄
11月9日	助手席	運転	東京～静岡～東京	12月8日	航空機		沖縄～東京
11月12日	運転	助手席	東京～豊田～東京	12月19日	航空機		東京～沖縄
11月14日	助手席	運転	東京～静岡～東京	12月21日	航空機		沖縄～東京
11月16日	運転	助手席	東京～豊田～東京	11月23日		安静時	自宅
11月26日	助手席	運転	東京～豊田～東京	11月25日	安静時		自宅
11月28日	運転	助手席	東京～静岡～東京	12月11日		安静時	自宅
1月10日	助手席	運転	東京～岡山	12月17日		安静時	自宅
1月12日	運転	助手席	岡山～東京	1月9日	安静時	安静時	自宅
1月15日	助手席	運転	東京～岡山	1月20日	安静時	安静時	自宅
1月17日	運転	助手席	岡山～東京	1月31日	安静時	安静時	自宅
11月20日		新幹線	東京～秋田	2月1日	安静時	安静時	自宅

LF成分とHF成分の比をとったLF/HF値が交感神経を反映する指標として、HF値が心臓副交感神経を反映する指標として解析を進めた。また、RRIの変動係数であるCV-RRは、ストレス、緊張感が高まると値が小さくなると報告されている⁶⁾。CV-RR値もストレスを反映する指標として解析を行った。

3. ストレス計測実験と解析結果

(1) 本実験の検討事項

本研究では既往研究のレビューをもとに以下のような項目を実験・考察する。

(a) 概日リズムの存在の確認

人間における全ての内分泌機能は、決して不変ではなく、24時間を周期として規則正しい変動を繰り返す概日リズム(24時間の生体リズム)が存在すると言われている。体温、血圧、心拍数は夕方最高となり、午前3時～6時頃に最低となる²⁾³⁾。概日リズムが存在する場合は、長時間のRRI測定値や測定時刻が異なる場合は概日リズムを考慮した分析が必要である。

(b) 利用交通機関による乗車ストレスの相違

ストレスの起因となる外的負荷は、条件・環境により変化するとされる⁴⁾。同一の乗車時間であっても交通機関によって乗車ストレスが異なるかどうかを確認する。

(c) 心拍間隔から得られる複数の指標の有効性

心臓交感神経を反映するLF/HF値、心臓副交感神経を反映するHF値、緊張感を表すCV-RR値もRRIと同様、ストレスを反映する指標としての有効性を確認する。

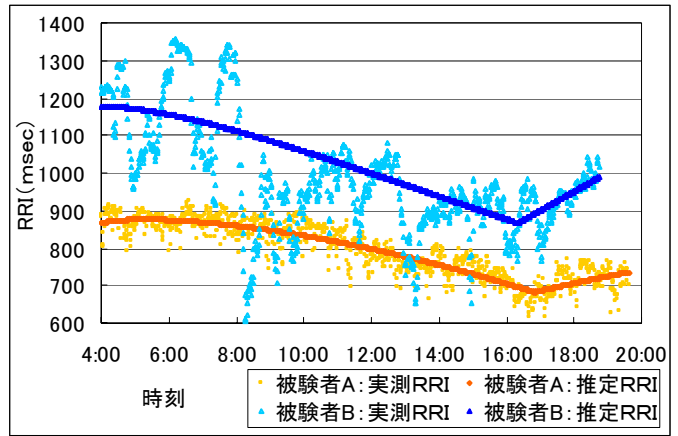


図 2 安静時の RRI 実測値と推定値

(2) 実験概要

被験者は 22 歳の男性 2 名とし、実験は表 1 のように 10 月下旬から 2 月上旬に行った。幹線交通機関(自動車、バス、航空機、新幹線)の乗車時の心拍間隔をホルター心電計で計測した。自動車乗車時は運転席、助手席ともに計測し、(助手席での環境を AHS a 導入時と仮定している)また、トリップ長短によるストレスの傾向を把握する為に約 650km と約 300km の距離を高速道路で計 14 回走行した。

測定時は 1 時間半おきに主観的疲労度を一般的疲労症状・心的疲労症状・身体症状の項目ごとに申告した。また、位置情報を取得するために小型 GPS を使用した。

概日リズムを測定するため、自宅での安静時のデータと睡眠時のデータを計測した。

(3) 概日リズムを考慮した RRI 変化率指標の作成

心拍間隔の日内変動(概日リズム: circadian rhythm)を確認した結果、図 2 にプロットした点が見えるように概日リズムの存在が確認された。概日リズムの RRI は 16～17 時頃 RRI が最小値となり、その後徐々に上昇することから、既存の研究³⁾でいわれている結果と一致した。これにより、長距離運転に伴うストレスを RRI によって計測する場合には、概日リズムの影響を取り除いて分析する必要があることがわかった。

後述する概日リズムの影響を取り除いて RRI 変化率指標を作成するために、複数日の安静時の実測 RRI を移動平均したデータを用いて、回帰分析を行った。経過時間 T (min) 及び時刻の RRI 最短時

らの経過時間 t (min) を説明変数として、平均的な RRI(msec) を推定する関数である。

$$\text{推定RRI} = \text{Const.} + \beta_1 T^2 + \beta_2 T + \beta_3 T^{1/2} + \beta_4 T^{-1} + \beta_5 t$$

RRI の概日リズムを推定した結果を図 2 に重ねて示す。

交通機関乗車時は休憩時間を省いた RRI を、上記で推定した安静時推定 RRI で除した。これを、ストレスを評価する RRI 変化率指標とした。

$$\text{RRI 変化率指標} = \frac{\text{乗車時実測RRI}}{\text{安静時推定RRI}} \times 100(\%)$$

つまり、RRI 変化率指標は 100% を下回ると安静時よりもストレスがかかっていることになる。また、被験者 B の心拍数はサービスエリアでの休憩後から概日リズムに安定するまでの時間を要するため、安定するまでの時間を次式で補正した。

$$\text{RRI} = 2.5T + 732.1 \quad (T: \text{回復時間})$$

(4) RRI 変化率指標による分析

(a) 自動車乗車時の RRI 変化率指標

自動車運転時、助手席時における被験者 A、被験者 B の RRI 変化率を図 3, 4 に示す。両名とも運転席の方が RRI は短く、運転席と助手席とはストレスの差が見られることが明らかであり、240 分以降では変化率の差が増加している結果となった。

既往研究で言われている運転開始から数時間は環境適応期、240 分以降は疲労症状が表れる運転疲労期であるという報告¹⁾⁵⁾と一致した。

(b) 交通機関別の RRI 変化率指標

被験者 A の各交通機関別の RRI 変化率を図 5 に示す。図 3, 5 より、短距離乗車時と長距離乗車時の心拍変動はほぼ同様の軌道を描くこと、乗車ストレスは交通機関によって異なることが確認された。航空機の方が、新幹線よりも心拍数が高い要因として、加速負荷が大きいこと、高速移動を行うこと気圧の変動があることなどが考えられる。

(5) ストレス指標の比較考察

長距離走行の運転時、助手席時のストレスを比較考察するために、申告した主観的疲労度および RRI から得られる各種ストレス指標を表 2 に示す。各ストレス指標は、走行経過時間中で平均した。

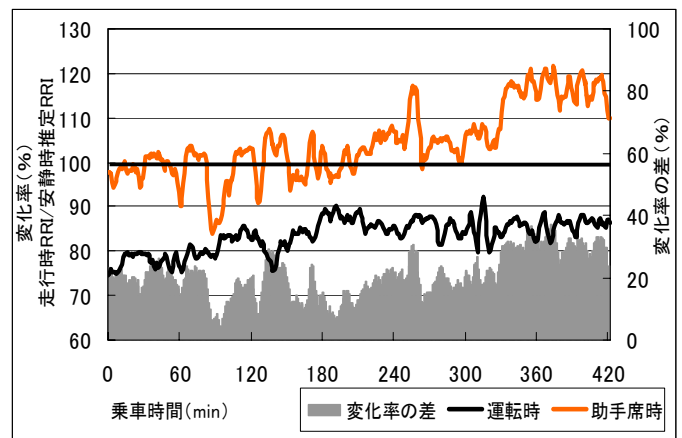


図 3 被験者 A における自動車乗車時の RRI 変化率

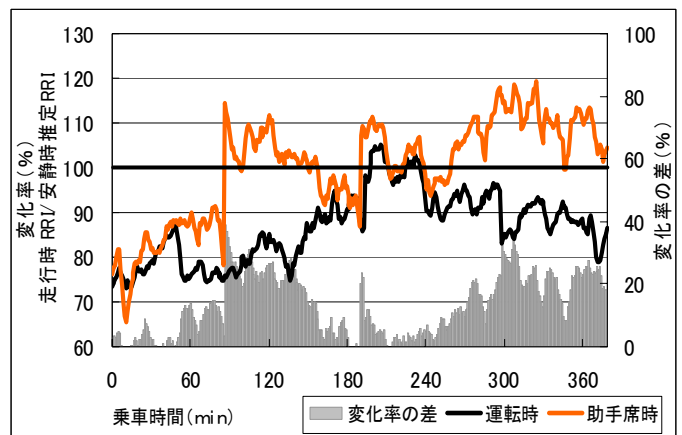


図 4 被験者 B における自動車乗車時の RRI 変化率

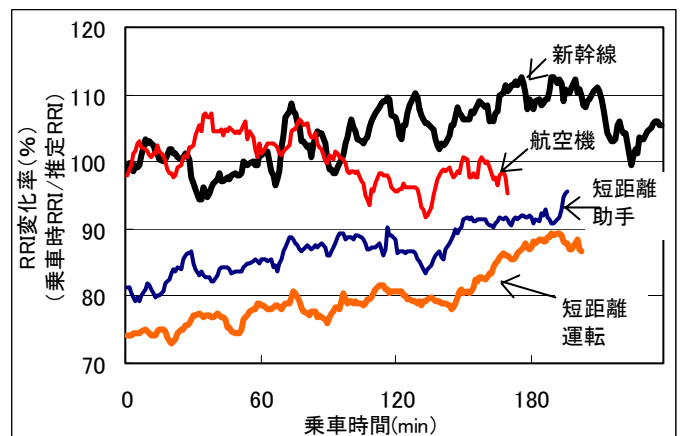


図 5 被験者 A における交通機関別の RRI 変化率

(a) 主観的疲労度

計測実験では、心電計による測定に加えて、主観的な疲労意識調査として 1 時間半おきに 5 段階の疲労度を申告した。明らかに運転時と助手席時では異なることが確認された。また、運転時には走行開始後 270 分以降で明らかに疲労意識が高まる。この結果は、(4-a) の運転疲労期と一致し、RRI が有効なストレス指標であることを裏付けている。

(b) 周波数解析により得られる指標

LF/HF 値は自律神経系の交感神経を反映する値で、

表 2 各ストレス指標の比較

指標	状態	被験者A: 走行経過時間(min)					被験者B: 走行経過時間(min)				
		0-90	91-180	181-270	271-360	360-	0-90	91-180	181-270	271-360	360-
主観的評価	D	0.8	1.0	1.5	2.3	3.1	0.5	1.0	1.0	1.5	2.9
	P	0.8	1.0	1.3	1.5	2.1	0.5	1.0	1.0	1.5	1.9
LF/HF (msec ² /msec ²)	D	3.1	3.4	3.7	3.8	4.4	3.4	3.4	3.1	3.3	3.4
	P	3.0	3.1	3.2	3.3	3.6	3.1	3.2	2.9	3.0	3.1
HF (×10 ⁴ msec ²)	D	1.2	0.8	0.6	0.7	0.8	6.4	6.4	5.4	5.8	7.0
	P	3.0	2.3	1.9	1.7	1.9	9.6	7.4	8.7	8.4	7.8
CV-RR (%)	D	3.0	3.6	3.5	3.5	3.4	5.6	7.1	5.5	5.0	4.8
	P	5.1	8.0	5.9	4.4	4.8	7.9	8.1	9.1	7.3	6.6
RRI変化率指標 (%)	D	83	84	87	93	91	91	91	93	94	89
	P	94	94	98	103	102	88	94	98	102	99

※D:Driver P:Passenger

ストレスを受けると値が増加することが知られている²⁾。両名とも運転時のほうが若干ではあるが高い値を示している。また、被験者 A は徐々に値が増加する傾向が見られる。

HF 値は自律神経系の副交感神経を反映する値で、ストレスを受けると値が減少することが知られている²⁾。両名とも運転時と助手席時の値に差が明確に現れている。特に、被験者 A は乗車時間とともに減少する傾向が見られた。また、両被験者を比較すると、被験者 B の方が全体的に高い値を示している。被験者 B は被験者 A よりも心拍数が低く、RRI が長い理由として副交感神経の影響が強いことが考えられ、HF 値が副交感神経を反映する指標であることを裏付けている。

心拍変動は、交感神経と副交感神経の刺激を互いに反映して活動している。被験者 A は自律神経系の活動が顕著に表れている。一方、被験者 B は RRI 変化率指標に比べ精度が劣る。個人の特性によって、ストレスを反映する指標が異なることが確認された。

(c) CV-RR 値

CV-RR 値は RRI の標準偏差を RRI の平均値で除した RRI の変動係数である。緊張感・ストレスが高まるにつれ、値が小さくなると報告⁶⁾されている。両名とも運転時の方が小さい値を示し、91～270 分の間に最大となって、そこから減少傾向にある。CV RR もまた、環境適応期、運転疲労期を反映している指標といえる。

4. まとめ

概日リズムを考慮した RRI 変化率指標により、長距離乗車時の運転席、助手席にストレスの違いが

明確に見られ、長距離トリップに伴うストレスの蓄積を確認することができた。また、自律神経の活動を周波数解析により把握し、心拍変動を詳細に分析することができた。

本研究は、ストレス指標を幹線交通機関選択モデルの共通変数として扱うことを想定している。本実験の結果を見る限りでは、RRI 変化率指標、CV

RR 値はストレス指標として有効である。LF/HF 値、HF 値は運転、助手席の違いは見られるものの個人差が大きくストレス指標としては疑問が残る。しかし、RRI 変化率指標を細かく分析する上での補助的な指標としての有効性を否定するものではない。

謝辞

本研究は、文部省科学研究費(奨励研究(A)12750485)の研究助成を受けて実施した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 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,土木計画学研究・論文集 No.18,pp.439-444, 2001
- 2) 林博史,心拍変動の臨床応用,医学書院,1999
- 3) 大塚邦明,久保豊,品川亮ほか,心電現象のサーカディアンリズム,臨床検査,Vol.43,No43,pp.1502-1510,1999
- 4) 長沢有恒,人間の疲労度について,自動車技術,Vol.44,No.10,pp.86-93,1990
- 5) 大久保亮男,運転時間と運転者の心身負担,人間工学,Vol.21,No.1,pp.29-34,1985
- 6) 茂吉雅典・横山清子・吉岡貴芳ほか,高速道路の長時間運転における心電図 R-R 間隔時系列の経時変化,自動車技術会論文集 Vol.27,No.3,pp.107-112,1996