

# 心電図RR間隔による運転疲労評価法の研究

Study of Driver's Fatigue Estimation Method by RR Interval of Electrocardiogram

水野 康文\*

Yasufumi Mizuno

## 要旨

心電図R波の時間感覚(RRI)から運転疲労を評価判定する方法を検討した。被験者1名を対象に、四輪車で高速道路を主体に400kmの走行実験を3回繰り返した。計測されたRRIからトレンド成分と変動成分を表す統計指標を算出し、オフィスワーク時のRRI、および主観評価結果と比較した。5分毎のRRIの平均値(RRM)をトレンド成分を表す指標とした。変動成分を表す指標として標準偏差(SD)を採用した。SDは一時的緊張等のトレンド成分の影響を受けるため、SDからトレンドに対してロバストな指標RRV15を定義した。RRM、RRV15から以下のことがわかった。  
①運転疲労によりRRMは減少する。  
②休憩時と運転時のRRV15の差から定義した新しい指標RER(回復率)は運転疲労が蓄積すると激減する。また、RRM、RERの経時変化の統計的有意性も確認できた。

## 1 はじめに

より快適、より安全な乗り物づくりを目指して、生体情報を電気信号として検出し、生理状態を定量的に捉えようとする様々な試みがなされている。

生体情報の中でも心電データから測定されるRR間隔(RRI)は自律神経の調節機能を反映するもので、運転疲労評価への適用の可能性を調査した研究事例が多く報告されている。RRIは呼吸の深さによっても変動するほど敏感な生理情報である。したがって、RRIから算出された各種統計量が不偏的な運転疲労評価指標か否かの判断には再現性の検討が必要になる。しかしながら、再現性について検討を加えた研究事例は少なく、多くの研究報告の結論は必ずしも一致しておらず、不偏性のある疲労評価法が確立していないのが現状である。

そこで、本報では実走行による長距離走行を3回繰り返し、結果を統計処理することにより再現性について検討を加え、RRIから運転疲労の程度を定量的に捉える方法を提案した。

## 2 実験方法

### 2.1 実験概要

走行実験は3回(ケース1～ケース3)繰り返し行った。また、比較のためにオフィスワーク時(コントロール)のデータを1日分収集した。

被験者：男性1名、運転経験15年  
ルート：静岡県磐田市から東名、中央高速道路経由岐阜県馬籠までの往復400km。  
走行方法：全行程を6つの走行区間(A～F)に分けた。各区間の走行時間は約1時間。区間C走行後に90分の昼食休憩を、その他は15分程度の休憩をとった。

実験車両：1200cc国産乗用車

### 2.2 計測項目

心電データを専用アンプを通してデータレコーダに記録した。同時に、メモ(時刻、走行場所、走行距離、混雑の程度、疲労の程度)を5分毎に音声で記録した。

## 3 解析方法

データレコーダに記録された心電データを1kHzでサンプリングし、R波の位置を自動認識し、RRIの時系列データをパソコンに取り込みデータファイルを作成した。

このデータからRRIのトレンド成分と変動成分を表す統計量を算出する。

### 3.1 トレンド成分の算出

トレンド成分を表す統計量として算術平均を採用した。5分毎にRRIの平均値を算出し、これをRRMとした。

### 3.2 変動成分の算出

変動成分を表す統計量として標準偏差(SD)を

\*技術本部 基盤技術研究室

採用した。SDはRRIの平均値からの偏差の絶対値に比例する。従って、RRIにトレンドが存在するとSDは大きくなる。つまり、車線変更時等の一時的緊張がトレンド成分となって表れ、結果的にSDを大きくしてしまうことが考えられる。そこで、一時的緊張による影響がなるべく少なくなるような計算条件の検討を行った。

図1は市街地を15分間走行したときのRRIである。このデータには本線合流による一時的緊張が含まれている。これからSDを1分、3分、5分毎に計算し、これらをRRV1, RRV3, RRV5とする。この結果を図2に示す。これから15分間の変化率は128% (RRV1), 74% (RRV3), 79% (RRV5) 大きく、いずれの場合も本線合流時の緊張による影響が大きく表れていることが分かる。図3はRRV1を5分毎に平均したもの (RRV15) である。この場合の変化率は8%と小さく、本線合流時の緊張による影響が除かれていることが分かる。以上の検討結果よりRRV15をRRIの変動成分を表す統計量とした。

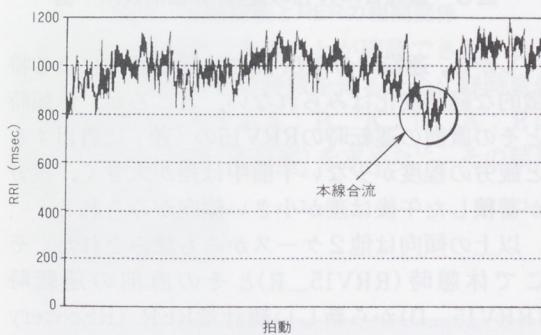


図1 運転時RRIデータ

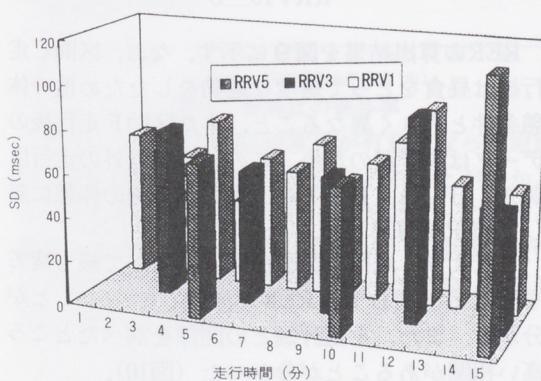


図2 SDの安定性検討結果

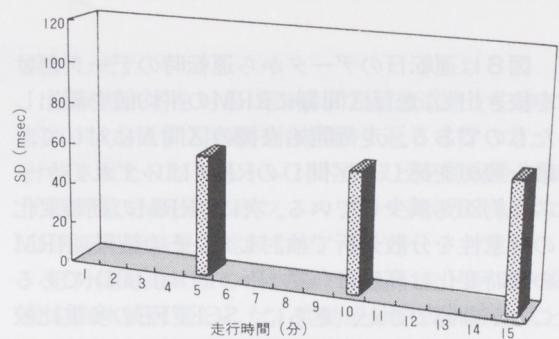


図3 RRV15の安定性検討結果

## 4 結果及び考察

### 4.1 主観評価

結果を図4に示す。評価は各走行区間毎に「非常に元気」を5点、「非常に辛い、眠い」を1点とするSD法で行った。走行時間は各区間とも約1時間。A～Cが午前中、昼食をはさんでD～Fが午後の走行である。3回の実験ともほぼ同様の結果となった。

最も辛く眠いのはD区間。昼食後かつ西日に向かっての走行ということもあり「睡魔との戦い」が続く。その後(E, F)は「あともう少し」という精神面の影響もあり「辛さ」が徐々に回復したかのように感じる。

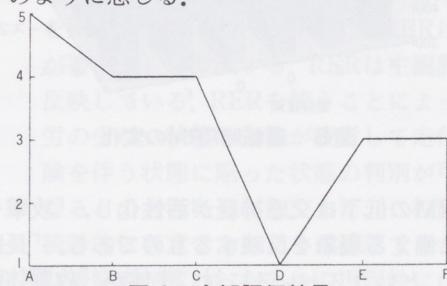


図4 主観評価結果

### 4.2 RRMの経時変化

結果を図5に示す。平常日(コントロール)は1000msec付近を中心にはらついており、トレンドは見られないが、運転日(ケース)では走行時間の経過に伴い、RRMが減少する傾向が見られる。

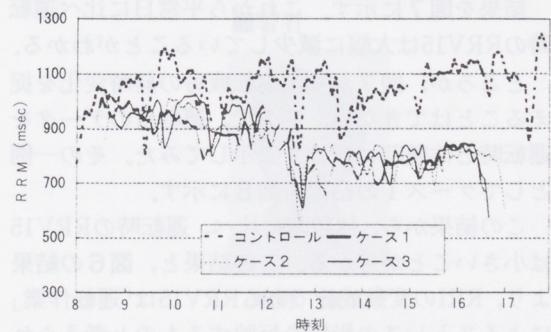


図5 RRMの経時変化

図6は運転日のデータから運転時のデータだけを抜き出し、走行区間毎にRRMの平均値を算出したものである。走行開始直後の区間Aに対して、最も疲労を感じる区間DのRRMはいずれのケースも約20%減少している。次に、RRMの経時変化の有意性を分散分析で検討した。その結果、RRMの経時変化は高度に有意 ( $Pr > F = 0.001$ ) であることが確認できた。さらに、SCEFFEの多重比較法<sup>1)</sup>を使って、各走行区間での平均値の比較を試みたところ危険率5%でA, B, C(午前中)とD, E, F(午後)の2グループに分かれる結果となった。以上の結果より、実験の繰り返しによる日間変動を考慮しても運転日の運転時RRMは午前中に対し午後は低下することが明らかになった。

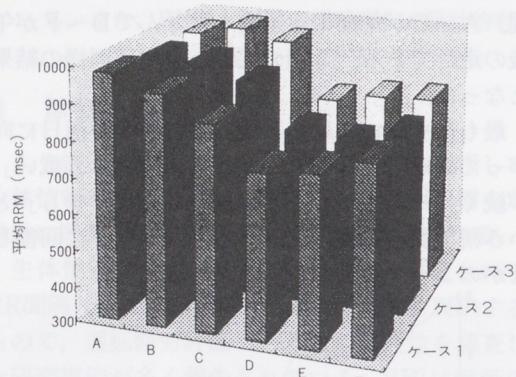


図6 運転時RRMの変化

RRMの低下は交感神経が活性化し、「攻撃や逃避」に備える現象を反映するものである。「長距離走行」というストレスに対し生体が「攻撃体制」をつくるために、交感神経の活動が活発になり、RRMが低下したものと考えられる。

従って、RRMは運転疲労を反映する指標の1つと考えることができる。

#### 4.3 RRV15の経時変化

結果を図7に示す。これから平常日に比べ運転時のRRV15は大幅に減少していることがわかる。

ところが、図7からは運転疲労の経時変化を捉えることはできない。そこで、運転日のデータを運転時と休憩時に分けて表示してみた。その一例としてケース1の結果を図8に示す。

この結果から、休憩時に比べ、運転時のRRV15は小さいことが分かる。この結果と、図6の結果より、RRIの変動成分であるRRV15は「運転作業」によるストレスの影響を反映するものと考えられる。

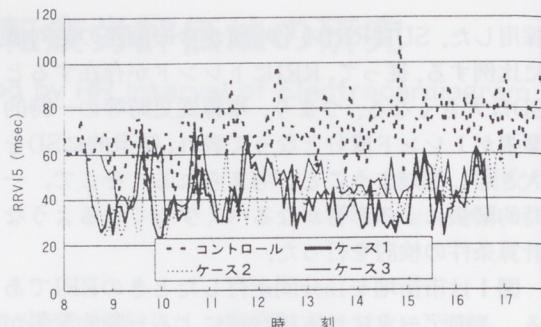


図7 RRV15の経時変化

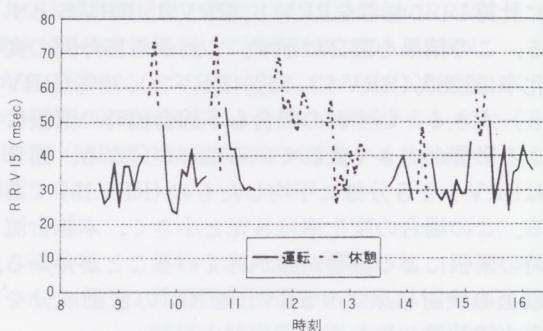


図8 運転日RRV15の運動/休憩別表示一例

しかし、運転時のRRV15には運転疲労による特徴的な経時変化はみられない。ところが、休憩時とその直前の運転時のRRV15の「差」に着目すると疲労の程度が少ない午前中は差が大きく、疲労が蓄積した午後は差が小さい傾向がみられる。

以上の傾向は他2ケースからも読みとれた。そこで休憩時(RRV15\_R)とその直前の運転時(RRV15\_D)から新しい統計量RER (REcovery Ratio : 回復率) を次のように定義した。

$$RER = \frac{(RRV15_R) - (RRV15_D)}{RRV15_D} \times 100(\%)$$

RERの算出結果を図9に示す。なお、区間C走行後は昼食をとって適度な運動をしたため他の休憩条件と大きく異なること、また区間F走行後のデータは未計測のため、この2区間以外の走行区間A, B, D, Eとその直後の10分間の休憩に対してRERを算出した。

これより、走行直後の区間Aに対して最も疲労を感じる区間DではRERが激減していることが分かる。また、主観評価との関係を調べたところ高い相関があることが分かった(図10)。

次に、このデータに対し、RERの経時変化的有意性を分散分析で検討した結果、 $Pr > F = 0.04$ となり繰り返しによる日間変動を考慮してもRER

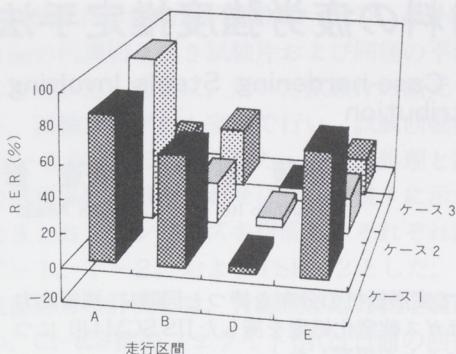


図9 RERの変化

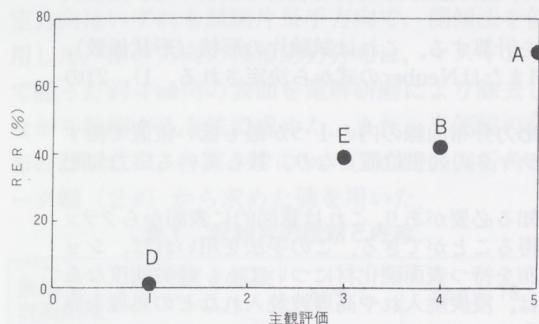


図10 主観評価とRERの相関関係

の経時変化は有意であることが確認できた。さらに、RERの経時変化の特徴を知るために経時変化の全変動成分に対するA:B, A:D, A:Eの対比平方和の比率(寄与率)を求めた<sup>1)</sup>。その結果を図11に示す。

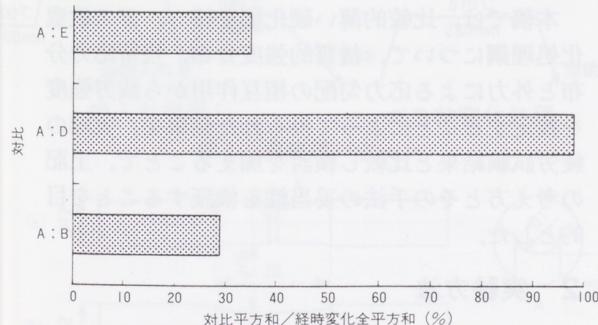


図11 各対比の寄与率

これより、RERの経時変化が有意となった原因の大部分はAからDへの変化であることが分かる。以上の結果から、RERを使うことによって疲労の少ない状態(本報の場合は区間A)と生体が疲労して走行上危険を伴う状態に陥った状態(同区間D)の判別が可能になるものと考えられる。

## 5 まとめ

心電図RRIから運転疲労を評価判定する方法を

検討した。

被験者1名を対象に四輪車で高速道路を主体に約400km走行する実験を3回繰り返して行った。計測されたRRIからトレンド成分と変動成分を表す統計量を算出し、オフィスワーク時のRRI、および主観評価結果と比較した。

5分間毎のRRIの平均値(RRM)をトレンド成分を表す統計量とした。変動成分を表す統計量として標準偏差(SD)を採用した。SDは一時的緊張である。トレンド成分に対して不安定な統計量であるロバストな変動統計量RRV15を定義した。RRM, RRV15から以下のことが分かった。

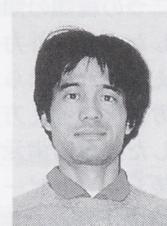
- 1) 運転時RRMは午前中に比べ午後は約20%減少する。この傾向は統計的に有意であることが確認できた。
- 2) 「運転作業」というストレスを与えることによりRRV15は減少する。
- 3) 運転日の運転時のRRV15からは疲労による経時変化はみられない。
- 4) 運転負荷を与えるとRRV15が小さく、休憩時には大きくなり、その差が運転疲労とともに小さくなることに着目し、運転時と休憩時の差の運転時に対するRRV15の比率をRER(回復率)と定義した。RERは疲労が蓄積すると激減する。RERは主観評価を反映している。RERを使うことによって疲労の少ない状態と生体が疲労して走行上危険を伴う状態に陥った状態の判別が可能となるものと考えられる。また、この傾向は統計的に有意であることが確認できた。

今後は被験者が変わったときの再現性について調査する。

## 参考文献

- 1) 竹内ほか “SASによる実験データの解析”, 東京大学出版会

## ■著者



水野 康文