

## 脈波計測に基づく路面評価を対象とした生体疲労関連指標の検討

北見工業大学工学部 正会員 ○富山 和也  
 北見工業大学工学部 正会員 川村 彰  
 北見工業大学大学院 学生員 岩本 惇志

### 1. はじめに

これまでの道路管理を目的とした路面評価に関する研究は、質的向上要素である快適性および最低限確保されるべき安全性については考慮しているが、初期状況では認知しにくく、潜在的な生体疲労に関しては未解明な点が多い。ここで、道路利用者のライフスタイルに依存する生体疲労を「能動疲労」とすると、路面性状由来の車両振動に起因する「受動疲労」については、道路管理と利用者評価の間にギャップが生じており、依然として十分な研究がなされていないものといえる。そこで、本研究では、ドライビングシミュレータ（以下、「DS」）を用いた走行試験により、運転者の生体情報に着目し、非拘束脈波計測に基づく受動疲労評価に有効な生体指標について検討した。

### 2. 脈波計測による生体疲労評価

#### 2.1 脈波の概要

脈波は、耳朶や指尖に付けたセンサにより、簡便かつ非拘束・非侵襲に計測可能であり、測定値の二階微分による脈波加速度を用いることで、心電図と同様に心拍変動に関する情報を得ることができる。生体疲労をメンタルストレスの持続時間に依存した蓄積と考えると、脈波計測は、受動疲労の評価においても有効であるものと考えられる。本研究では、非拘束脈波計測を導入し、客観的かつ合理的な受動疲労評価が期待できる、心拍変動に着目した検討を行なう。

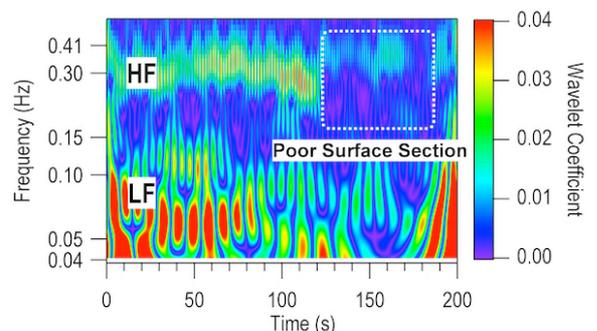


図-1 心拍変動の連続ウェーブレット変換例

#### 2.2 心拍変動の特徴

心拍変動とは、心拍数の揺らぎであり、ストレスなどによって変化する自律神経系の活動を表す重要な生体情報の一つである。心拍変動は、周波数領域において、高周波成分（HF 成分：0.15-0.4Hz）と低周波成分（LF 成分：0.04-0.15Hz）にピークを持ち、HF 成分が副交感神経系の、LF 成分が副交感神経系と交感神経系の活動を反映することが知られている。既往研究<sup>1)</sup>では、HF 成分に着目することで、走行路面に起因する潜在的なストレスの把握が可能であることを明らかにしている。図-1は、心拍変動の連続ウェーブレット変換例であるが、120 から 180 秒の平坦性低下区間において、外部刺激に起因した副交感神経成分の不活性化に伴う、HF 成分の減衰が確認できる。一方、LF 成分は、ストレスに対する緩やかな適応に関連するといわれており、ストレス状況下では著しく増大することが知られている。また、LF 成分は交感神経および副交感神経系両者の活動を反映することから、LF 成分と HF 成分の比（LF/HF）をとり、交感神経系活性化に関連したストレス指標として提案されている。そこで、本研究では、HF 成分と LF/HF を生体指標とし、それらの受動疲労評価における有効性について検討する。

### 3. DS を用いた走行試験

本研究では、路面に起因する車両振動以外のストレス要因を極力排除するため、路面性状に関する実データの利用および再現が可能な、北見工業大学所有の路面評価型 DS（図-2）を用いて走行試験を実施した。試験協力者は、健常な 20 代の学生 9 名（男性 9 名、平均年齢 21.3 歳）であり、DS に乗車後に脈波センサを装着し、脈波の安定を確認してから試験走行を行った。走行試験における路面条件は、IRI（国際ラフネス指数）が(a) 0.9、(b) 5.3 および (c) 10.5mm/m の 3 水準で評価延長は 150m とした。試験コースは、評価対象路面前後にそれぞれ 150m と 20m のコントロール区間を設けて配置し、1 試行あたり各路面水準をランダムに 9 回体験するよう設計した。被験者は、試

キーワード 路面評価、平坦性、疲労、脈波、心拍変動、ドライビングシミュレータ

連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町 165 北見工業大学 工学部 社会環境工学科 TEL 0157-26-9496

行回数 5 回, 計 135 回の評価区間を走行し, 試験時間は 1 人当たり約 1 時間となる. なお, コントロール区間の IRI は 0.9mm/m である.

#### 4. 脈波計測に基づく受動疲労評価指標の検討

##### 4.1 生体指標の算定と解析方法

脈波の解析は, 試行回数および路面水準が, 各生体指標に及ぼす影響を調べるため, 有意水準 5% で対応のある二元配置分散分析とし, 主効果が有意となった場合には, 事後にテューキーの HSD 法による多重比較検定を行なった. 生体指標は, はじめに, パワースペクトル密度を, 解析時間 10 秒とし, 1 秒毎にスライドさせながら計算した. 続いて, 得られたパワースペクトル密度を, LF および HF の帯域でそれぞれ積分し, 各帯域のパワーを計算した. なお, 本研究では, 試行回数の増加による影響に着目し, 評価対象路面上で, 各被験者の 1 回の試行から得られた各心拍変動指標を, 路面条件ごとに平均したデータを用いた.

##### 4.2 結果と考察

以下に, 各生体指標を用いた解析より得られた知見を示す.

(1) HF 成分: HF 成分では, 交互作用はみられず試行回数の主効果のみが有意となった. 試行回数について, 多重比較検定を行なったところ, 試行を重ねるにつれ HF 成分は増加し, 1 試行目と 5 試行目の差が有意となった. これは, 試行回数の増加に伴い, 被験者のストレスが弱まったことを表している. このことから, 被験者は, 路面性状を原因とし, 一時的にストレス状態となるが, 走行体験を重ねるにつれ, 次第に車両振動へ順応し, HF 成分が高くなり, ストレスは弱くなる. すなわち, HF 成分から得られる情報は, 路面に対する短期的なストレスと関わりがあり, 乗り心地などの快適性評価に有効であるといえる.

(2) LF/HF: LF/HF では, 交互作用と主要因のいずれにも有意差はみられなかったが, 試行の初期段階においては, IRI の増加に反比例して LF/HF が減少する傾向が窺えた. 図-3 に, LF/HF における IRI と試行回数の関係を示す. 図より, LF/HF は, 1 から 4 試行目では IRI の増加に反比例し減少する傾向にあるが, 5 試行目では IRI に比例して増加する結果となった. そこで, 試行回数ごとに IRI と LF/HF を直線回帰し, 得られた回帰係数と試行回数の関係について検討した. 図-4 に試行回数と回帰係数の関係を示す. 図より, 試行回数と回帰係数の間に強い正の相関がみられ, 5 試行目には, 回帰係数が正の値となっている. これは, 試行回数の増加に伴い, 交感神経系が活性化し, 路面に対するストレスが増加したものと見える. このことから, 被験者は, 走行体験を重ねるにつれ, 路面性状を原因とした車両振動によりストレス状態となる. すなわち, LF/HF から得られる情報は, 時間変化に依存した長期的なストレスと関係し, 受動疲労の発現と関わりがあるものといえる.

##### 5. まとめ

生体疲労をメンタルストレスの持続時間に依存した蓄積と考えると, 脈波計測に基づき心拍変動の LF/HF を指標とすることで, 路面性状由来の疲労である受動疲労の状態を非拘束・非侵襲に把握できることが示唆された. 一方, HF 成分は, 走行初期段階での路面性状に対するストレスを検知できることから, 乗り心地などの快適性評価に有効であることが確認できた.

##### 参考文献

- 1) 富山和也, 川村 彰, 高橋 清, 石田 樹: 生体情報を利用した路面乗り心地に基づく舗装の健全度モニタリング, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.67, No.2, pp.I\_125-I\_132, 2011.



図-2 路面評価型 DS の外観

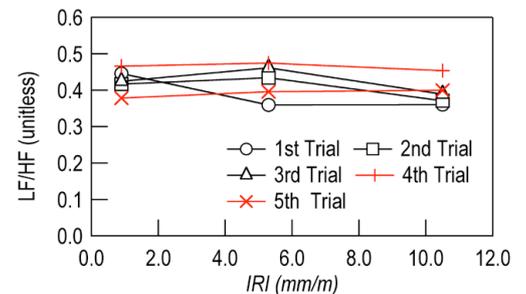


図-3 試行回数ごとの LF/HF と IRI の関係

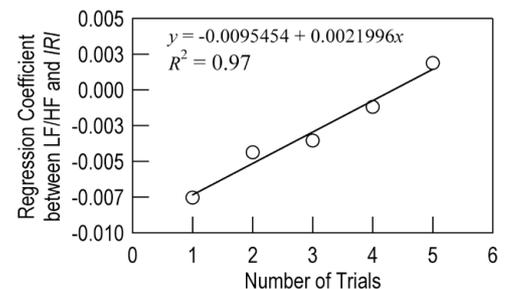


図-4 試行回数の増加に伴う回帰係数の変化