

# 路面凹凸がユーザーの乗り心地評価に及ぼす影響

石田 樹\*

## 1. はじめに

我が国の高速道路や国道の路面管理において用いられる舗装路面評価の閾値や総合評価指標は、主として道路技術者の経験に基づく技術的観点から路面を評価したものであり、快適性や走行安全性などの道路利用者の評価観点は盛り込まれていないため、道路の快適性を評価する手法の整備が必要であると思われる。

路面凹凸の状態と走行快適性の関係については多くの既往研究<sup>1)</sup>があり、その多くは路面の平坦性と乗り心地の関係を被験者の主観評価により検討したものである。被験者による主観評価は、人の感覚を直接計測することができる点で優れる反面、被験者の動的な振動感受性の差による評価のばらつきによる定量化の困難さ、自己申告であることによる客観性の低さが課題として指摘される。

そこで筆者らは、乗り心地の定量・客観指標の開発を目的に、従来用いられてきた主観評価に加え、客観評価指標として生体信号を用いる可能性について基礎的な検討を行った<sup>2)</sup>。多数の生体信号の中から指標として用いるものを選択するにあたり、被験者への負担の少なさ、車両動揺環境下における計測の容易さと随時性、ノイズや測定誤差への頑健性などを考慮し、自律神経系の生体信号である心拍数を用いた。ドライビングシミュレータ(以下DS)実験で凹凸路面走行時の心拍数の変化を観測した結果、以下の知見が得られた。

- ・全被験者の平均値による全体的傾向として、被験者の心拍数は凹凸路を走行すると平坦路走行時に比べて増加した。
- ・その増加量は上下方向の加速度が大きいほど大きくなる傾向にあった。
- ・凹凸路走行時の心拍数増加量が大きいほど、主観評価による乗り心地が悪化した。

この実験により、路面の凹凸状態に応じて心拍数の変化が観測されたことから、乗り心地の客観

的指標として心拍数を利用できる可能性が示唆されたものと考えられる。そこで本研究では、凹凸路走行時の心拍変動現象と主観評価の関係を、被験者別に詳細に解析することを目的として、凹凸路走行時の心拍数測定時間をより長く(1分間)とした追加実験を行い、回帰分析を用いて心拍数増加量による乗り心地主観評価の予測式を得た。

## 2. 実験の方法

### 2.1 実験条件

心拍変動などの生体信号はストレスの定量的・客観的評価に有効とされ<sup>3)</sup>、運転疲労等の計測評価に関して多くの研究が行われている<sup>4)</sup>。心拍電位は図-1のような波形を示し、鋭いピークを示すR波の間隔(R-R Interval : *RRD*)を計測することで心拍数の瞬間的変動を知ることができる。心拍電位は被験者の心臓を挟み込むように左脇腹および右鎖骨下部に電極を装着して計測した。

評価用の路面は1998年に日本で行われた路面平坦性に関する第2回PIARC国際共通試験<sup>5)</sup>における測定データからInternational Roughness Index(*IRI*)=2、3および5mm/mの区間を抽出した。*IRI*は路面凹凸による車両振動を数値化した指標で、値が小さいほど平坦性が良好である。抽出区間の*IRI*の範囲は“新設舗装～老朽化した舗装”に相当する。各条件におけるISO2631-1<sup>6)</sup>で重み付けした車両上下加速度実効値は表-1のとおりである。車両挙動は挙動解析ソフト(CarSim<sup>7)</sup>で計算し路面評価型DS(KITDS<sup>8)</sup>、写真-1)に入力した。

表-1 実験条件

case	<i>IRI</i> (mm/m)	<i>V</i> (km/h)	重み付き上下加速度実効値(m/s <sup>2</sup> )
1	2	80	0.32
2	3	80	0.67
3	5	80	0.88

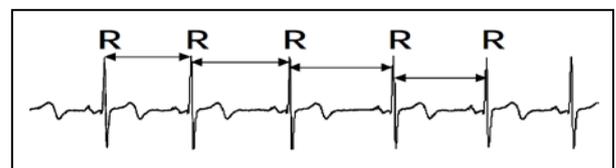


図-1 心拍電位波形の計測例

走行コースは片側1車線、幅員は3.5mの直線で、評価対象凹凸区間の前に比較区間として $IRI=0$ の区間を設けた。舗装表面およびコース周辺の画像は極力単純なものとし、被験者が動作音の影響を極力受けまいよう、KITDSの動揺発生用アクチュエータには吸音材を巻き付けて静音化した。

## 2.2 実験手順

実験手順は図-2に示すとおりである。20代から40代の健常で運転経験豊富な男性3名の被験者を用いた。再現性の検証のため各条件で3回の試行を行った。被験者は心拍電位測定用電極を装着した後、KITDSに乗り、心拍電位波形を安定させるために3分間の平坦路走行を行ってから凹凸路走行を開始した。心拍電位データは生体信号計測用アンプ(PolymateAP1132、TEAC社製)をPCに接続し、逐次信号をモニタリングしながら収録した。データ解析には生体信号計測解析ソフト(AP-MonitorおよびR-R Interval Analysis、NoruPro Light Systems、Inc.社製)を使用した。心拍数の変化は、凹凸路走行に入る直前1分間のデータと凹凸路走行時のデータとの比較により算出した。各実験条件で走行した直後に、被験者による乗り心地の主観評価(0~5のスケール)で行った。



写真-1 KITDSの外観

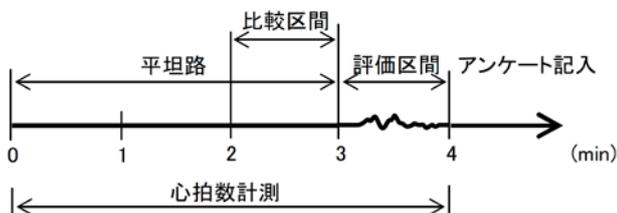


図-2 実験手順

## 2.3 解析方法

心拍数および主観評価を被験者毎に標準化し、上下加速度実効値、心拍数変化および主観評価の関係について解析を行った。心拍数は、凹凸路走行時と平坦路走行時の差によって評価した。

## 3. 実験の結果

### 3.1 心拍数

図-3は平坦路および凹凸路走行時の被験者の心拍数をプロットしたものである。各実験条件において、被験者の凹凸路走行時の心拍数は平坦路走行時と比較して増加する傾向が確認された。上下加速度水準毎にt検定を行ったところ全ての水準において平坦路および凹凸路走行時の被験者心拍数に統計的に有意な差が見られた。

### 3.2 再現性

心拍数増加量は被験者によって若干差はあるものの比較的良好的な再現性を示した。主観評価は非常によい再現性を示した。今回の被験者は過去にシミュレータを用いた振動乗り心地の主観評価実験を経験しており、質問紙による評価に慣れていたためと思われる。

### 3.3 上下加速度と主観評価および心拍数増加量

心拍数増加量と主観評価の3試行全てのデータを相加平均し、振動加速度レベルとの関係を検証した。図-4は乗り心地主観評価の全被験者平均を上下加速度実効値ごとにプロットしたものである。主観評価値は値が高いほど乗り心地が良いことを示す。主観評価は上下加速度レベルが増加すると共に低下することがわかる。

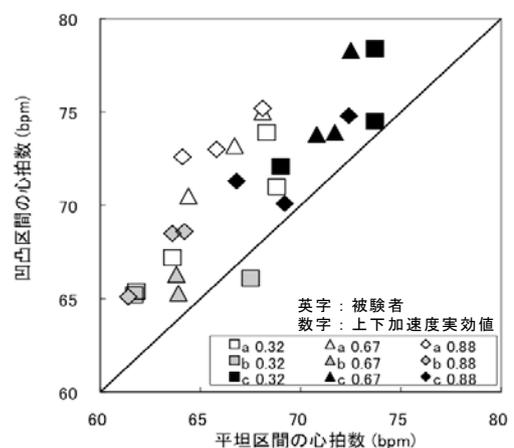


図-3 平坦路および凹凸路の心拍数

図-5は、被験者ごとに標準化した心拍数増加量の全被験者平均値を上下加速度実効値ごとにプロットしたものである。心拍数増加量も既実験結果と同様に、上下加速度レベルの増加に伴い増加する傾向を示した。

### 3.4 回帰分析

心拍数および主観評価の全データを用い、標準化した主観評価(ZPR)を被説明変数、標準化した心拍数(ZHR)増加量を説明変数として被験者それぞれについて直線回帰分析を行った。図-6~8は、直線回帰モデルによる主観評価の予測値と実際に観測された主観評価の関係を被験者ごとに示したものである。被験者Aは $R^2=0.875$ 、被験者Bは $R^2=0.680$ と高い寄与率を示し、回帰モデルの当てはまりは良好であった。これに対し被験者Cでは $R^2=0.278$ と低い寄与率を示した。

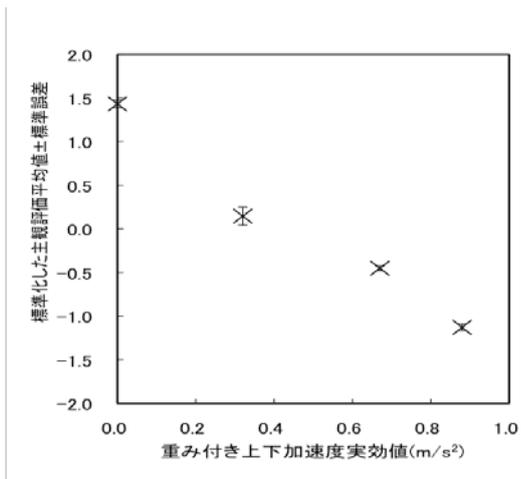


図-4 上下加速度と主観評価

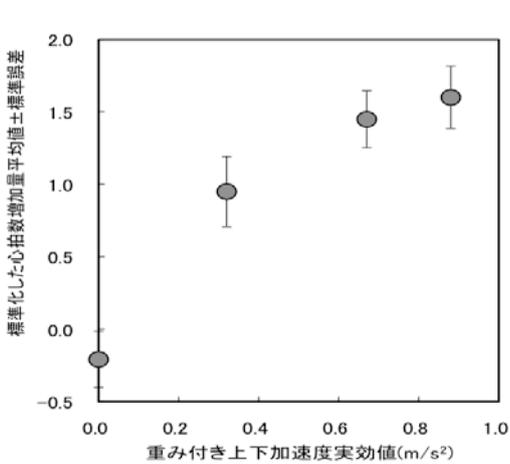


図-5 上下加速度と心拍数増加量

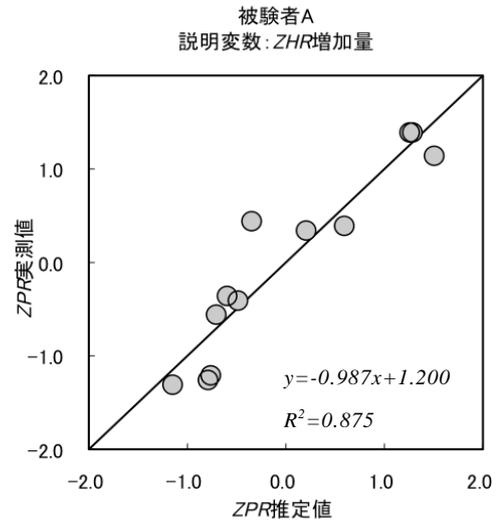


図-6 回帰モデルの当てはまり(被験者A)

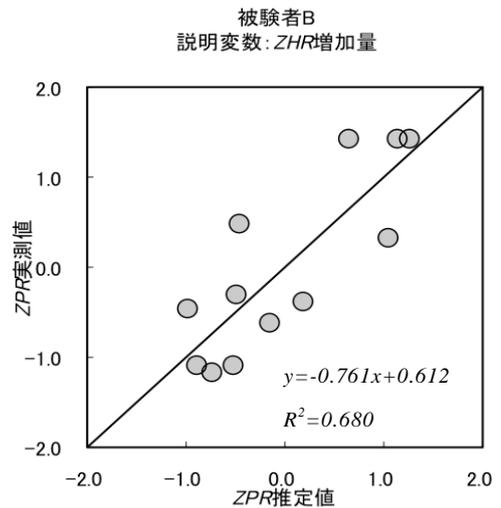


図-7 回帰モデルの当てはまり(被験者B)

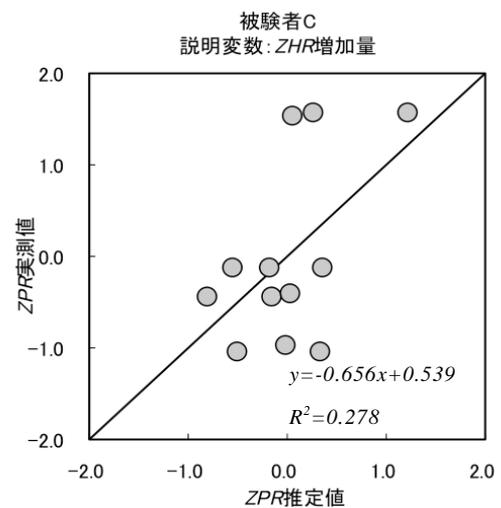


図-8 回帰モデルの当てはまり(被験者C)

#### 4. 考察

被験者の心拍数は凹凸路を走行すると平坦路走行時に比べて増加し、その増加量は上下方向の加速度レベルが大きいほど大きくなる傾向にあることが確認された。また、凹凸路面走行時の心拍数増加現象には、ある程度高い再現性があることが確認された。これらのことから、客観的な乗り心地評価指標として心拍数変化を利用できる可能性が改めて示唆された。

被験者ごとに直線回帰モデルにより主観評価の予測を行った結果、2名の被験者においてモデルの良好な当てはまりがみられ、心拍数増加量により主観評価を説明する可能性が示唆された。他方、モデルの当てはまりが悪い被験者もいることが確認された。これは、体内外の環境から受けるストレス刺激に対する生体反応の傾向が個人ごとに異なるためと推察される。従って生体信号を用いた乗り心地評価モデルの構築を行うには、無作為に多くの被験者によるデータを集めるだけでは不十分であり、それぞれの被験者の振動刺激への生理的感性の違いを考慮に入れることが必要である。例えば生理的感性の高低によってグループ分けした上でモデルを作成することなどが考えられる。

#### 5. 結論

本研究により以下の知見が得られた。

- ・被験者の心拍数は凹凸路を走行すると平坦路走行時に比べて増加し、その増加量は上下方向の加速度が大きいほど大きくなる傾向にある。
- ・心拍数の増加量が大きいほど、主観評価による乗り心地は悪化した。
- ・同一試験条件で3回の試行を行った結果、心拍数増加量および主観評価は比較的良好な再現性を示した。
- ・被験者ごとの回帰分析により、心拍数増加量により主観評価による乗り心地を説明するモデルを提案した。ただし、生体信号を用いた乗り心地評価モデルの一般化には、個々の被験者の振動刺激への感性を考慮することが必要である。

主観評価と生体信号はどちらも人間というシ

ステムに外部から刺激が加わったときの反応であり、これらに関連づけ、相互に利用して合理的判断を行う方法を確立することを今後の方向とした。

#### 参考文献

- 1) Michael W. Sayers, Steven M. Karamihas, : The Little Book of Profiling, - Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles, The University of Michigan, 1998.
- 2) 石田 樹、川村 彰、Alimujiang Yiming、富山和也：生体信号による舗装路面の乗り心地評価に関する基礎的研究、土木学会舗装工学論文集、pp.197～204、2007
- 3) 財団法人機械システム振興協会：ストレス計測技術の安全対策への適用可能性に関する調査研究報告書-要旨-、2004.
- 4) 例えば、上田誠、近藤光男、松本博次、早川晴雄、田中隆現：追従走行実験における心理的・生理的反応に基づく運転疲労の定量化に関する研究、土木計画学研究・論文集、Vol.22、No.4、2005.
- 5) Kawamura, A., Takahashi, M., Inoue, T. : Basic Analysis of Measurement Data from Japan in PIARC EVEN Project, Transportation Research Record, No.1764, pp.232-242, 2001.
- 6) ISO2631-1, Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration, 1997.
- 7) <http://www.carsim.com/products/carsim/>.
- 8) Kawamura, A., Maeda, C., Shirakawa, T., Ishida, T., Nakatsuji, T., Himeno, K. : Applicability of a Driving Simulator as a New Tool for the Pavement Surface Evaluation, Proceedings of the SHIV, 2004

石田 樹\*



独立行政法人土木研究所寒地土木  
研究所寒地道路研究グループ寒地  
道路保全チーム 総括主任研究  
員、博士(工学)  
Dr. Tateki ISHIDA