

(24) ヒトの心理および生理情報に着目した 客観的な路面のラフネス評価

富山和也¹・川村 彰²・Riccardo Rossi³・Massimiliano Gastaldi⁴・Claudio Mulatti⁵

¹正会員 博士(工) 北見工業大学 工学部 (〒090-8507 北海道北見市公園町 165)

E-mail: tomiyama@mail.kitami-it.ac.jp

²正会員 博士(工) 北見工業大学 工学部 (〒090-8507 北海道北見市公園町 165)

³Non-member, Ph.D., Dept. of Civil, Architectural and Environmental Eng., University of Padova
(Via Marzolo, 9 35131 Padova, Italy)

⁴Non-member, Ph.D., Dept. of Civil, Architectural and Environmental Eng., University of Padova
(Via Marzolo, 9 35131 Padova, Italy)

⁵Non-member, Ph.D., Dept. of Developmental Psychology, University of Padova
(Via Marzolo, 8 35131 Padova, Italy)

本研究は、ヒトの認知処理と精神的ストレスに関わる心理および生理情報に着目した、客観的な路面のラフネス評価について、ドライビングシミュレータを用いた走行試験結果をもとに検討したものである。その結果、ラフネスが生理情報と関連し、短期的および長期的なストレスへ影響を及ぼす場合、心理情報として得た反応時間の有意な増加、即ち認知処理の低下につながることを明らかにした。また、ラフネスと認知処理に関わる注意資源の状態をもとに、IRIの管理水準について検証したところ、既往研究で示された $IRI=5.0\sim5.2\text{ mm/m}$ を裏付ける結果が得られた。本研究成果は、質的満足度が求められる道路交通環境整備において、ヒト由来の情報をもとに合理的な評価を与えるものと期待できる。

Key Words : surface roughness, reaction time, heart rate variability, psychophysiology, driving simulator

1. はじめに

近年、社会基盤の老朽化が急速に進行する中、舗装路面の状態は、道路と車両の接点となるため、利用者視点に基づく道路交通環境の整備に欠かせない要素となっている。また、職業ドライバーや高齢者の交通事故が社会問題となる中で、路面に起因する車両走行時の安全性および快適性の確保は重要な課題である。さらに、今日の車両自動走行への社会的な期待に鑑みると、快適で安全な走行路面への需要は、今後さらに高まるものと考えられる。

特に、路面のラフネスは、快適な交通を確保する上で、舗装に求められる必須の性能指標であり、その合理的な評価は、道路利用者に対し質の高い道路交通サービスを提供する上で極めて重要な役割を果たす。そのため、ラフネスの評価は、路面とヒトおよび車の状態を関連づける様々な検討がなされている。例えば、藤田ら¹⁾は、国際ラフネス指数(International Roughness Index: IRI)を用い、

市街地道路の路面モニタリングを実施し、一般国道および主要地方道におけるラフネスの実態について報告している。石田ら²⁾は、体感走行試験で得られたアンケート結果より、ラフネスと利用者の乗り心地および安心感の関係を明らかにしている。また、富山ら³⁾は、ヒトの生理情報を用い、路面由来の精神疲労の観点からラフネスの評価を行なっている。

しかし、平坦性と利用者評価の関係は非常に複雑であり、また、従来のラフネスに関する研究は、振動乗り心地に立脚したものが主であることから、ヒトの情報に基づく定量的な検討は未だ不十分であると考えられる。そこで、本研究は、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、路面に起因する安全性および快適性の観点から、既往の精神的ストレスに関わる生理的な自律神経系の反応³⁾に加え、ヒトの認知処理に関わる心理的な注意資源に着目することで、心理および生理情報に基づく客観的なラフネス評価について検討する。

2. 実験条件および心理生理計測の概要

(1) DS の概要

本研究では、ラフネスに起因する車両振動以外の環境変動要因を排除し、試験条件を極力単純化するため、北見工業大学所有の路面評価型 DS を用いて走行試験を実施した。路面評価型 DS は、ラフネスと関連する、数センチメートル単位の路面波長まで再現することが可能であり、実道試験と同様の路面評価傾向が得られることを確認している⁴⁾。DS による試験状況を図-1 に示す。

(2) 心理計測

複数の作業や情報の認知的処理に対し、同時に向けられる注意は分割されて配分される。その処理に必要な心的エネルギーが注意資源であり、その量には限界があることが知られている⁶⁾。この注意資源が影響する認知過程は、与えられた刺激に対する反応時間 (Reaction Time) を指標とした行動的方法により評価することができる。本研究では、以下の二通りの音刺激弁別課題を設定し、反応時間を計測した。なお、反応時間の計測は、走行開始から約 10 秒後に、ヘッドフォンによる音刺激の提示に対し、「できる限り速く正確に」回答するよう試験参加者に指示し、刺激提示から回答までの反応時間をミリ秒単位で記録可能な Voice Key を用いた。

a) 音程弁別実験 (Tone discrimination experiment)

この実験は、試験参加者が事前に学習した高音・中音・低音と音程の異なる音刺激を提示し、刺激提示から与えられた音程の回答までの反応時間を計測する。これ以降、本実験を、Exp T とする。

b) 語句弁別実験 (Word discrimination experiment)

この実験は、例えば、犬 (イヌ) と家 (イエ) など、第一音の発音が同様の動物とそれ以外の語句を与え、語句が動物であれば「Yes」と、それ以外であれば「No」と回答するよう指示し、刺激提示から回答までの反応時間を計測する。これ以降、本実験を、Exp W とする。

(3) 生理計測

路面性状由来の精神的ストレスの評価には、心拍変動の周波数領域における自律神経系指標の有効性が確認されている³⁾。本研究では、指尖脈波計測より得られた心拍変動の高周波成分 (HF : 0.15-0.4Hz) と低周波成分 (LF : 0.04-0.15Hz) に基づき、高周波成分 HF および低周波高周波成分比 LF/HF を心拍変動指標とする。ここで、HF は安静状態、即ちストレスのない状況下で活性化し、LF/HF はストレス状況下で活性化する性質がある。ここで、HF および LF/HF は、生理反応に及ぼす要因をラフネスに限定するため、上記の心理計測に資する課題刺激提示直前までの値を用いた。

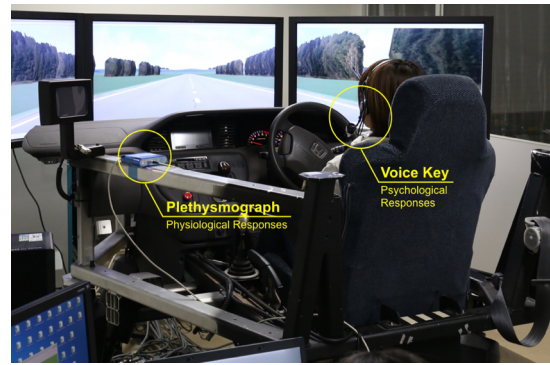


図-1 DS による走行試験の状況

(4) 試験シナリオ

走行試験における路面条件は、一般道路の新設、供用中および供用後の破損が生じた状態を想定し、IRI が(a)0.9、(b)5.3 および(c)10.5 mm/m の3水準とした。走行条件は、運転操作による心理的生理的負荷の影響を排除するため助手席状態とし、1 試行あたり、走行速度 60 km/h で、各被験者に対しランダムに与えられた各路面水準を 20 秒間体験するよう設定した。また、各試行において、前述の心理および生理反応を計測した。試行回数は、Exp T では、各路面条件において各音程 5 回とした 15 回の計 45 回であり、Exp W では、各路面条件で語句を 14 種類とした 42 回である。

走行試験には、参加者として、試験ごとに健常な男女 24 名 (女性 12 名、平均年齢 21.6 歳) の協力を得た。なお、本試験は、北見工業大学「人を対象とする研究倫理審査委員会」の承認を受け、全ての被験者から自由意志による試験参加への同意を得た上で実施した。ここで、Exp T における女性被験者 1 名については、前述の心理および生理計測エラーによる欠測のため、以下の解析では 23 名から得られたデータを解析対象とした。

3. 心理生理情報に着目したラフネス評価

(1) 心理計測データのスクリーニングと分類

事前処理として、音刺激に対する回答が誤答となったものは、「できる限り速く正確に」回答するという課題を正しく遂行できていたため、計測結果から除外した。また、平均より極端に長い反応時間についても、課題を正しく遂行できていないものといえる。そこで、正答時の反応時間の分布状況から、得られた結果を対数変換し、平均値から標準偏差の 3 倍以上異なる値を外れ値として除外した。

図-2 に、各実験課題における、路面ごとの平均反応時間を示す。図より、反応時間は、IRI の増加に従い、Exp T では増加傾向であるのに対し Exp W では減少傾向となった。しかし、IRI を独立変数とし反応時間を従属変数とした有意水準 5%での対応のある一元配置分散分析の結果、

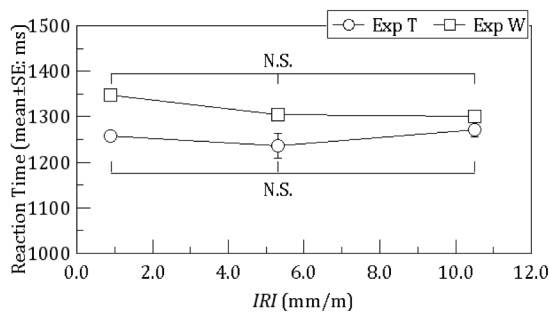
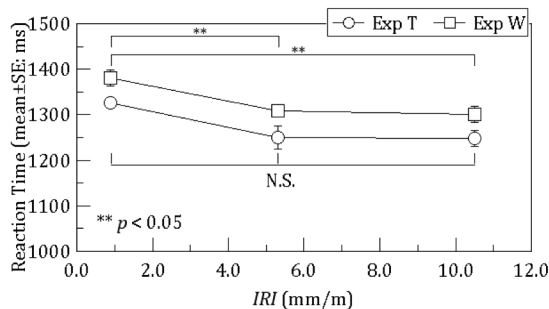
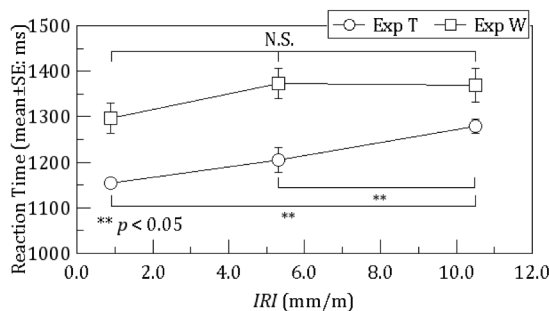


図-2 音程弁別 (Exp T) および
語句弁別 (Exp W) 実験における反応時間



(a) グループ A : 基準路面に対し反応時間が減少する参加者群

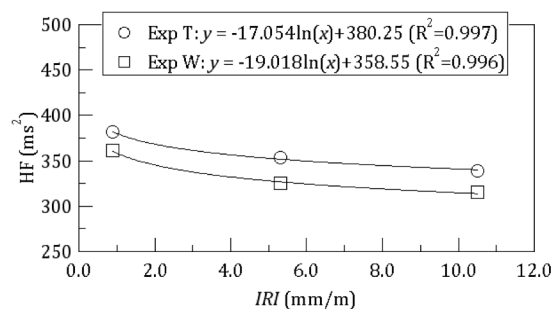


(b) グループ B : 基準路面に対し反応時間が増加する参加者群

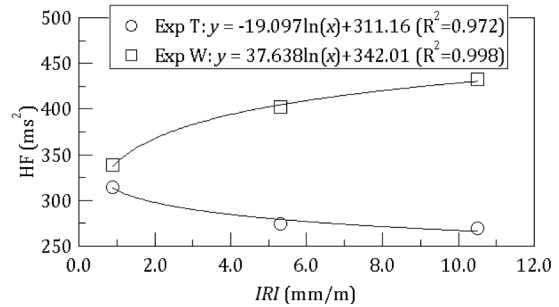
図-3 音程弁別 (Exp T) および語句弁別 (Exp W) 実験での
IRI と参加者グループ毎の平均反応時間の関係

いずれの実験も IRI の主効果に有意差はみられず (Exp T: $F(2, 44) = 0.78, p > 0.05$; Exp W: $F(2, 46) = 2.27, p > 0.05$), 個人差で有意差がみられた (Exp T: $F(22, 44) = 16.65, p < 0.05$; Exp W: $F(23, 46) = 26.13, p < 0.05$).

そこで, 反応時間の絶対値の解釈は困難であるため, IRI が 0.9 mm/m の路面より得られた結果を基準とし, 相対的な反応時間の差を参加者ごとに整理した. その結果, 両実験とも反応時間は, 基準路面上で得られた値に比べ, 減少する場合と増加する場合が存在することがわかった. そこで, 本研究では, 以降, 基準路面からの反応時間が減少したグループを A, 増加したグループを B とし, グループごとに反応時間を整理し解析を行なった. なお, 各実験において, 反応時間差の平均値に対し, 5%有意水準の棄却域に相当する標準偏差の 2 倍以上の結果となった参加者は, 以降の解析から除外することとした.



(a) グループ A : 基準路面に対し反応時間が減少する参加者群



(b) グループ B : 基準路面に対し反応時間が増加する参加者群

図-4 音程弁別 (Exp T) および語句弁別 (Exp W) 実験での
IRI と心拍変動指標 HF の関係

(2) ラフネスと反応時間の関係

図-3 に, 前節で分類したグループ毎の各実験における平均反応時間を示す. また, 分散分析において, 主効果が有意となった場合には, 事後にテューキーの HSD 法により多重比較検定を行なった. 図より, Exp T におけるグループ A では IRI の主効果に有意差がみられず ($F(2, 18) = 2.97, p > 0.05$), グループ B では有意差があり ($F(2, 22) = 12.96, p < 0.05$), 多重比較の結果, IRI が 0.9 mm/m と 5.3 mm/m および 0.9 mm/m と 10.5 mm/m の間で有意差がみられた. 一方, Exp W では, グループ A で IRI の主効果に有意差があり ($F(2, 30) = 7.61, p < 0.05$), 多重比較の結果, IRI が 0.9 mm/m と 10.5 mm/m および 5.3 mm/m と 10.5 mm/m の間で有意差がみられ, グループ B では有意差がみられなかった ($F(2, 12) = 2.87, p > 0.05$).

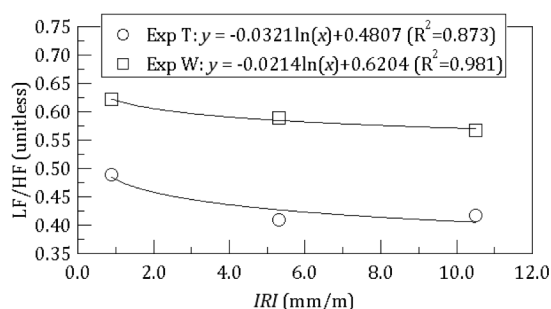
(3) ラフネスと心拍変動指標の関係

a) IRI と HF の関係

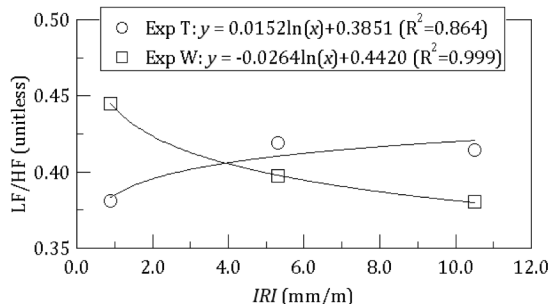
図-4 に, IRI と HF の関係を示す. 図より, グループ A では, どちらの実験においても, IRI の増加に反比例し HF が減少しており, 精神的ストレスが増加する結果となった. 既往研究³⁾において, HF は, 乗り心地などの快適性に関わる, 比較的短時間で生じる精神的ストレスとの相関が報告されており, ここで得られた結果は整合性のあるものである.

b) IRI と LF/HF の関係

図-5 に, IRI と LF/HF の関係を示す. 図より, グループ A では, いずれの実験においても IRI の増加に反比例



(a)グループ A：基準路面に対し反応時間が減少する参加者群



(b)グループ B：基準路面に対し反応時間が増加する参加者群
図-5 音程弁別 (Exp T) および語句弁別 (Exp W) 実験での IRI と心拍変動指標 LF/HF の関係

し LF/HF は減少傾向となる。一方、グループ B の場合、Exp T では IRI の増加に比例し LF/HF が増加するが、Exp W では、IRI の増加に反比例し LF/HF が減少する結果となった。ここで、既往研究³⁾において、LF/HF は、時間変化に伴う精神的ストレスと相関し、比較的長い時間で生じる路面由来の精神的な疲労と関係することが示唆されている。この結果に鑑みると、グループ A は、試験時間内での疲労の発現がなく、一方のグループ B では、Exp T のみ、疲労が生じているものといえる。

(3) 心理生理情報に基づくラフネス評価に関する考察

グループ A の参加者は、実験条件にかかわらず、路面状況に応じ、乗り心地と関連した短期的なストレスを受けているが、長期的な疲労関連のストレスの蓄積はみられず、認知処理に対する影響もみられない。一方で、グループ B の参加者は、Exp T において、路面に起因する乗り心地および疲労の影響を受けており、認知処理も有意に低下している。しかし、Exp W において、グループ B の参加者は、グループ A と同様、長期的な疲労関連のストレスの蓄積はみられず、認知処理の低下にも有意差がみられない。このことから、認知処理の低下、即ち反応時間の有意な増加は、ラフネスの短期的および長期的なストレスへの影響と関連するものといえる。この結果は、運転行動が伴わない状況であっても、ラフネスが認知に関わる注意資源に影響を及ぼし、車両走行時の安全性を低下させることを示している。

ここで、反応時間がラフネスに応じて有意に増加する

条件は、図-3 (b)に示す Exp T の結果より、IRI が 5.3 mm/m 以上の場合である。ラフネスを対象とした既往研究 a) 供用路線の実態調査¹⁾、b) アンケートに基づく乗り心地と安心感評価²⁾および、c) 生理反応に基づく精神的ストレス評価³⁾では、IRI の管理水準の目安が 5.0 ~ 5.2 mm/m となるが、本研究結果は、既往研究成果と整合的であり、それらを裏付けるものとなった。

4. おわりに

本研究は、車両乗員の安全性および快適性の観点から、ヒトの認知処理および精神的ストレスに関わる心理生理情報に着目した客観的なラフネス評価について検討したものである。その結果、ラフネスが生理情報と関連し、短期的および長期的なストレスへ影響を及ぼす場合、心理計測より得た反応時間の有意な増加、即ち認知処理の低下につながることを明らかにした。また、ラフネスと認知処理に関わる注意資源の状態をもとに、IRI の管理水準について検証したところ、既往研究で示された値を裏付ける結果が得られた。本研究成果は、質的満足度が求められる道路交通環境整備において、ヒト由来の情報をもとに、客観的かつ合理的な評価を与えるものと期待できる。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費（若手研究 (B) 15K20843 および基盤研究 (B) 26289167）の助成を受け実施したものである。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 藤田 旬, 富山和也, Nueraihemaitijiang ABLIZ, 川村 彰: 簡易平坦性測定および GIS に基づく市街地道路の路面モニタリング, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.69, No.2, pp.1_90-1_97, 2013.
- 2) 石田 樹, 岳本秀人, 川村 彰, 白川龍生: ドライビングシミュレータによる舗装路面の乗心地・安心感評価, 土木学会舗装工学論文集, 第9巻, pp.49-56, 2004.
- 3) 富山和也, 川村 彰, Riccardo Rossi, Massimiliano Gastaldi, Claudio Mulatti: 心拍変動解析に基づく精神疲労を考慮した路面平坦性評価, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.71, No.3, pp.1_1-1_8, 2015.
- 4) 富山和也, 川村 彰, 石田 樹, 秋田谷勇輝: ドライビングシミュレータおよび生体情報を用いた路面乗り心地評価システムの構築, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.68, No.2, pp.1_135-1_141, 2012.
- 5) 日本認知心理学会編: 認知心理学ハンドブック, 有斐閣, 2013.