

## 脳波による舗装路面の走行快適性評価

中央大学 正会員 ○郭 慶煥  
川崎市役所 非会員 小笠原康朗  
中央大学 フェロー会員 姫野 賢治

## 1. はじめに

近年、舗装の補修可否の判断には、従来から用いられてきた MCI などの路面プロファイルの総合評価指標に加えて、IRI などの道路利用者の視点で判断した評価指標が、測定装置の小型化および低コスト化も相まって多くの道路管理者の間で活用され始めている。

舗装路面における道路利用者の走行快適性評価には、従来から主にアンケート評価が用いられてきた。しかし、アンケート評価は簡便かつ容易に道路利用者の走行快適性を評価できる半面、得られる結果が主観評価であることから被験者間の回答結果にばらつきが生じやすいという問題を抱えている。そこで、本研究では、本学所有のドライビングシミュレータ（以下、DS）を利用して被験者の脳波を測定し、その結果から舗装路面の走行快適性を客観的かつ定量的に評価する方法についていくつかの検討を行った。

## 2. 実験方法および解析方法

## (1) 実験方法

本研究では、DS に車両の左右走行位置の路面プロファイルを入力した後、1 度に 2 人の被験者に乗車してもらい、運転席に座った被験者が一定速度で運転している間、助手席に座った被験者の脳波を測定した(写真-1)。1 パターンの路面プロファイルを走行した後、走行快適性に関するアンケート（非常に良い、良い、どちらとも言えない、悪い、非常に悪い、の 5 段階）について被験者に回答してもらった。



写真-1 脳波測定状況

実験には、波長、振幅および位相が異なる計 19 パターンの仮想路面プロファイルを使用した。また、被験者は 20 代の男性 7 人とし、脳波測定中は運転者に 40km/h 一定で走行してもらった。脳波測定は感性スペクトル解析装置 ESA-16<sup>1)</sup>を使用し、電極は国際 10-20 法にしたがって図-1 に示す頭部上の位置に計 10 箇所配置し、同一被験者で計 3 回ずつ測定した。

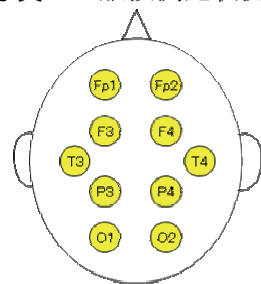


図-1 脳波測定時の電極配置図

## (2) 解析方法

脳波の解析には、武者ら<sup>1)</sup>が開発した感性スペクトル解析を用いた。感性スペクトル解析とは、(1)式に示す電極間の相互相関係数  $x$  を「状態ベクトル」として、(2)式のマトリクス演算を行うことで、心の状態を表わす「感性ベクトル」を算出するものである。ここで、(2)式の中の「感性マトリクス」は通常、Joy, Stress, Relax および Sadness といった 4 感情と脳波の関係から得られた汎用の感性マトリクスを用いる場合が多いが、本研究では走行快適性に関する Good および Poor という 2 感情の感性マトリクスを新たに作成して検証を行った。

$$\text{電極 } l, m \text{ 間の相互相関係数: } x = \frac{\langle u_l(t)u_m(t) \rangle}{\sqrt{\langle u_l^2(t) \rangle \langle u_m^2(t) \rangle}} \quad \cdots(1)\text{式}$$

$$\begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & a_{1,135} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \cdots & a_{2,135} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & \cdots & a_{3,135} \\ a_{4,1} & a_{4,2} & \cdots & a_{4,135} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{135} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \end{pmatrix} \quad \cdots(2)\text{式}$$

↑  
脳の状態から心の状態を抽出する  
感性マトリクス

↑  
脳の状態を表す  
状態ベクトル

↑  
心の状態を表す  
感性ベクトル

キーワード 脳波, 走行快適性, 感性スペクトル解析, ドライビングシミュレータ

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部都市環境学科道路研究室 TEL 03-3817-1796

### 3. 検討結果

#### (1) 脳波の再現性

脳波は非常に微弱な信号なので、アーチファクト(脳波のような生理信号に混入するノイズ)の混入には最大限の配慮をしなければならない。本研究では、ノイズ混入を低減するために、脳波測定中の被験者に対してアイマスクおよび耳栓を装着させて、視覚および聴覚によるノイズ混入を低減するように配慮した。図-2に同一被験者で複数回測定した場合の脳波のPSD解析結果の一例を示す。図-2の結果から、ノイズ混入を低減した効果もあって、脳波の再現性は概ね確保されていることがわかる。

#### (2) 走行快適性評価に影響を及ぼす脳波の電極位置

被験者の走行快適性評価の違いが脳波の電極位置および周波数帯に及ぼす影響について検討を行った。実験結果から、走行快適性評価が「非常に良い」または「非常に悪い」と回答した被験者が最も多かった仮想路面プロファイルを走行したときの脳波を、電極ごとに比較した。図-3に比較結果の一例を示す。比較結果から、走行快適性評価の違いによって脳波に差が見られ、特に頭部中心のT3およびT4、そして後頭部のO1およびO2の電極が他の電極よりも脳波の差が大きいことがわかった。

#### (3) 走行快適性評価用の感性マトリクス作成および検証

前述までの結果を踏まえ、走行快適性評価用の感性マトリクスを(3)式から求めた。

$$\begin{pmatrix} a_{1,1} & \cdots & a_{1,135} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{2,1} & \cdots & a_{2,135} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_{135} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \end{pmatrix} \quad \cdots(3)式$$

(3)式から走行快適性評価が「非常に良い」の場合  $z_1=1$  および  $z_2=0$ 、「どちらとも言えない」の場合  $z_1=0$  および  $z_2=0$ 、そして「非常に悪い」の場合  $z_1=0$ 、 $z_2=1$  として被験者の脳波データを学習させることで感性マトリクスを求めた。その感性マトリクスを用いて、アンケートで「非常に悪い」と評価された仮想路面プロファイルを走行したときの被験者の脳波から感性ベクトルを算出した結果を図-4に示す。これより、GoodおよびPoorの直交性が確保されていることを確認できる。次に、IRIの異なる2区間の実測プロファイルの走行中に測定した脳波から求めた感性ベクトルPoorの比較結果を図-5に示す。この結果から、IRIの大きい区間は小さい区間よりもPoorが大きくなる傾向にあることがわかった。

### 4. おわりに

本研究の結果から、走行快適性評価に対する脳波の適用性についていくつかの知見を示すことができた。更に、被験者の脳波データを蓄積し、走行快適性の客観的かつ定量的な評価方法を確立していきたい。

### 参考文献

- 1) 荒賀裕, 武者利光: 脳波による新たな感性解析法 ESA-16 Emotion Expert を用いた感性解析の手法と応用, 1999 年9月

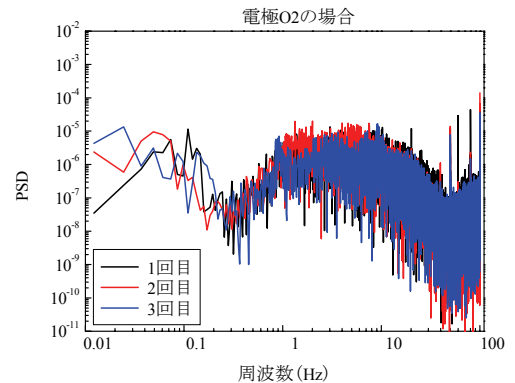


図-2 脳波の再現性

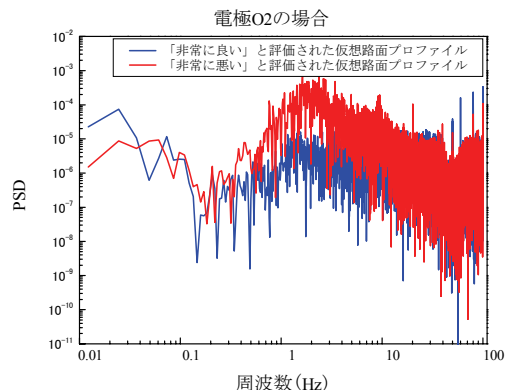


図-3 走行快適性評価の違いが脳波に及ぼす影響

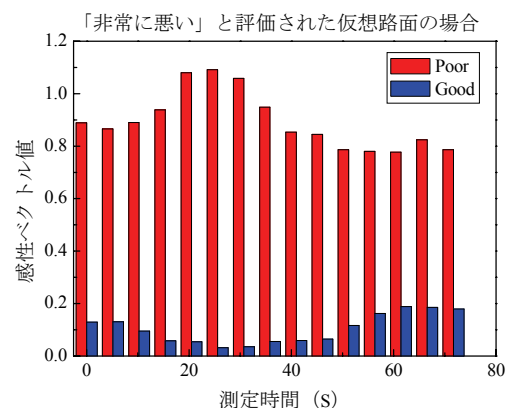


図-4 感性ベクトルの直交性

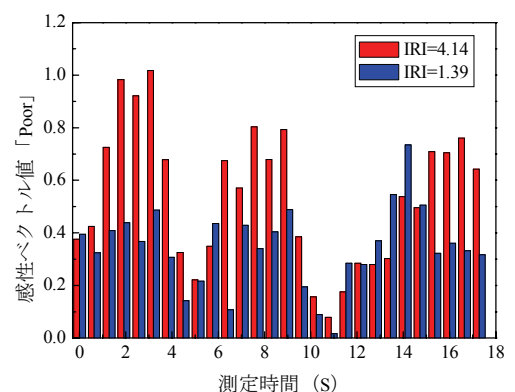


図-5 実測プロファイルにおける感性ベクトルの比較