

脳波による舗装路面の走行快適性評価

郭慶煥¹・磯崎大輔²・姫野賢治³

¹正会員 中央大学大学院理工学研究科土木工学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

E-mail : kaku@maedaroad.co.jp

²学生会員 中央大学大学院理工学研究科土木工学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

³フェロー会員 工博 中央大学理工学部都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

本研究では、近年、医療をはじめとした幅広い分野で活用されている人間の脳波測定に着目し、これを舗装路面の走行快適性評価に適用することを試みた。はじめに、路面プロファイルを用いて算出した車両挙動をドライビングシミュレータで再現し、被験者に対するアンケートおよび脳波測定を実施した。車両の動揺環境下における脳波信号の特徴について把握した後、測定した被験者の脳波を用いて、舗装路面の走行快適性を評価するための感性解析方法について検証を行った。その結果、本研究で示した脳波測定およびその解析方法は、舗装路面の走行快適性評価に有用であることがわかった。

Key Words : brain wave, emotion spectrum analysis, driving comfort, driving simulator

1. はじめに

道路を計画的かつ適切なタイミングで維持管理していくことは、今日の社会経済活動を支える上で非常に重要なことである。とりわけ、近年は道路管理者および道路利用者双方からの視点に立って、舗装を客観的かつ工学的な基準に従って維持管理していくことが求められている。

舗装を客観的かつ工学的な基準に従って維持管理していく中で、道路利用者の乗り心地を定量的に評価することは非常に重要であると考え、道路利用者の乗り心地と舗装路面の客観的な性状の関係を定量化するための取り組みは、1950年代から約10年の歳月をかけて行われたAASHO (American Association of State Highway Officials) 道路試験において、PSI (Present Serviceability Index) という評価指標が定義された。我が国においても、AASHO 道路試験の結果を参考にして PSI や MCI (Maintenance Control Index) という評価指標を定義し、舗装の維持管理に活用してきた。しかしながら、これらの評価指標は路面性状値による評価式を用いることで舗装を客観的に評価可能なものとしたが¹⁾、同時に、道路利用者の評価はアンケートによる回答が主体であったことなどから、人間工学的な要素を全て取り入れているとは言い難い。

このことを改善すべく、近年は人間工学的な要素を取り入れた道路利用者の乗り心地評価がいくつか行われている^{2), 3), 4)}。

当研究室においても、道路利用者の乗り心地評価に、

近年、医療をはじめとした幅広い分野で活用されている人間の脳波測定を取り入れていくつかの検討を行っている⁵⁾。これは、車両走行中に測定した被験者の脳波に、武者ら⁶⁾が開発した感性スペクトル解析を適用して4感情 (Joy, Stress, Sadness, Relax) の感性ベクトル値を算出し、そこから舗装の乗り心地を評価するものである。この手法は、舗装の乗り心地を客観的に評価できる可能性を示すことができた反面、得られる結果の精度、あるいは被験者の主観評価との整合性に問題があった。これは、脳波に混入するノイズの影響や、感性スペクトル解析から得られる4感情が元来、舗装の乗り心地評価を目的として作成したものでないことも起因していると考え、

そこで本研究では、当研究室が所有するドライビングシミュレータ (以下、DS) を用いて被験者の脳波を測定し、車両の動揺環境下における脳波信号の特徴について把握した後、測定した被験者の脳波を用いて、感性スペクトル解析から走行快適性を評価する方法について検証を行った。

なお、本研究では、実験時に被験者がハンドルを操作せず車両の動揺に対してのみ影響を受けているときの脳波を測定したため、乗り心地を走行快適性として定義している。

2. 脳波測定による感性評価

(1) 脳波の測定メカニズム

脳波は中枢神経系の活動として大脳皮質の活動電位を

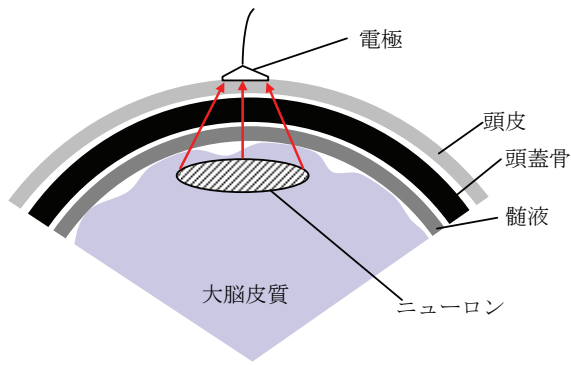


図-1 大脳皮質と電極

表-1 脳波の周波数による分類

脳波の分類	周波数帯 (Hz)
δ波	1～3
θ波	4～7
α波	8～13
β波	14～30
γ波	31～64
ω波	65～128
ρ波	129～512
σ波	513～1024

頭皮上に付けた電極で測定したものである。図-1 に大脳皮質と電極の概略図を示す。

頭皮上に電極を付けた場合、頭皮、頭蓋骨、そして何層もの膜や髄液などを経てかなり離れた距離にある大脳皮質からの微少な電位を受取ることになる。ひとつの電極に入力されるのは電極の直径のおおよそ3倍程度に相当する範囲の大脳皮質からの電位であり、そこに含まれる神経細胞（ニューロン）は数100万個にもなる。したがって、脳波はこれら膨大な数の神経細胞が発生する電位の集積を見ているということになる⁷⁾。

脳波は一般的に μV という非常に微弱な信号であるためアーチファクト(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。

頭皮上に付けた電極から収集した脳波は、一般的に表-1に示す周波数により分類されている。この中でも、α波は精神的に安定した状態において出現するといわれており、注意を集中するなど、より精神的活動が高くなると、さらに速いβ波が見られるようになる。また、θ波というα波より遅い波は、うとうとしたり、覚醒水準が非常に低いときに見られる⁸⁾。

(2) 脳波の測定方法

人間の頭皮上に付ける電極は、脳波の研究目的に応じて数十個付けたり、逆にモニタリングを目的として数箇所しか付けない場合もあるが、本研究では脳波測定時における電極の配置を国際脳波学会で標準とされている10-20法に従い、頭頂から見たときに図-2に示すような

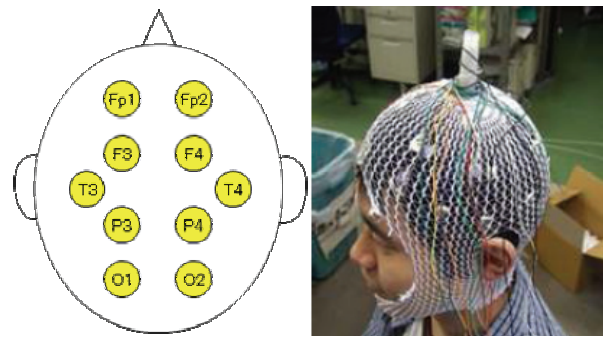


図-2 脳波測定時の電極配置図（国際10-20法）

表-2 脳波測定用電極の装着手順

手順	内容
1	すべての機器が正しく配線され、脳波測定装置が起動していることを確認する
2	被験者に首から頭部全体を覆うようにネットを被せ、両耳と顔面(眉から顎まで)に鉗を入れて露出する
3	図-2の配置図に従い、電極を装着する位置に脳波用ペーストを用いて印を付ける
4	電極装着位置にアルコールを付けた綿棒で髪をかき分け頭皮を露出させ、スキンピュアーで角質を取る
5	電極の金属が露出している部分に金属が見えなくなるまでペーストを塗り所定の位置に取り付ける
6	各電極装着位置について4～5の作業を繰り返す

形で合計10個の電極を配置した。この方法はモントリオール大学のH.Jasperが提唱した方法⁹⁾で、1949年に国際脳波臨床心理学連合によって標準化されているものである。脳波測定用の電極の装着手順は表-2に示すとおりである。

(3) 感性スペクトル解析

人間の頭皮上に付けた電極から収集した脳波信号は、それ自身を観察して脳内活動の状態を把握することが可能である。しかし、人間に与えられる刺激と、それに対する脳-中枢神経系の反応との対応関係を見ていくことで、そこから刺激が人間に与える影響や、様々なタスクを行っているときの精神状態および心理状態を客観的に推定、評価すること、すなわち人間の感性を評価することがとりわけ有用である。この分野に関しては、武者らが開発した感性スペクトル解析¹⁰⁾があり、本研究においてもこの解析手法を使用している。

感性スペクトル解析は、個々の電極より得られる脳波信号そのものの形よりも、頭皮上で脳波信号が場所的な分布状態、いわゆる頭皮上電位分布を重視している。頭皮上の各電極位置で検出される脳波は、ニューロンのネットワーク活動による電位の合成された信号として検出されるが、場所的に大きく関与するネットワーク活動や、関与しないネットワークによる波形が異なる。

このような関係を感度よく特徴化する有効な指標とし

て、異なる 2 つの電極で検出される脳波波形データ間の相互相関係数を求める方法がある。一定の時間範囲の電極 l, m 間の相互相関係数は(1)式で求めることができ、また周波数帯域ごとにわけて求めることで、更に詳細な特徴化が可能である。(1)式から、例えば電極が 10 個で特徴化する周波数帯域が θ 波、 α 波および β 波の 3 帯域であると、 $10C_2 \times 3 = 135$ 個の相互相関係数の個数になる。これを配列化して感性の状態を示すパラメータとして使用する。

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

武者らは、(1)式から求まる電極間の相互相関係数を用いて、(2)式から 4 つの感情 (Joy, Stress, Sadness, Relax) を算出するためのアルゴリズムを考案している。

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

ここで、 a は脳の状態から心の状態を抽出する「感性マトリクス」、 x は脳の状態を表す「状態ベクトル」(電極間相互相関係数)、 c は定数項、そして z は心の状態を表す「感性ベクトル」(例えば、Joy, Stress, Sadness, Relax) である。

(2)式から感性ベクトルを求める場合、事前に感性マトリクスを作成しておく必要がある。これは、まずイメージトレーニングの訓練を行っている被験者に Joy (喜び)、Stress (怒り/ストレス)、Sadness (悲しみ)、Relax (リラックス) といった 4 つの感情をそれぞれ独立にイメージしてもらい、そのときの脳波を測定する。次に、測定した脳波から電極間の相互相関係数を算出して(2)式に代入する。そして、例えば Joy のみをイメージした被験者の脳波の場合「 $Z_1=1, Z_2=0, Z_3=0, Z_4=0$ 」、Stress のみをイメージした被験者の脳波の場合「 $Z_1=0, Z_2=1, Z_3=0, Z_4=0$ 」、Sadness のみをイメージした被験者の脳波の場合「 $Z_1=0, Z_2=0, Z_3=1, Z_4=0$ 」、そして Relax のみをイメージした被験者の脳波の場合「 $Z_1=0, Z_2=0, Z_3=0, Z_4=1$ 」として(2)式の連立方程式を解き、感性マトリクスを作成する。

当研究室では、かねてから乗り心地評価を感性スペクトル解析から求まる 4 感情の感性値で評価を行っていたが、脳波測定時におけるアーチファクトの混入に加えて、4 感情が元来舗装路面の乗り心地を評価するために作られたものではないこともあり、そこから得られる結果の精度、あるいは主観評価との整合性に問題があった。そこで、本研究では、舗装路面のパターンに応じた脳波の変動について把握した上で、舗装の走行快適性を評価す

例えば、4感情の感性マトリクスを作成する場合、

Joy (喜び) をイメージした場合の状態ベクトルに対して、

$$\begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & a_{1,135} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \cdots & a_{2,135} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & \cdots & a_{3,135} \\ a_{4,1} & a_{4,2} & \cdots & a_{4,135} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{135} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{Joy}$$

Joy をイメージしたときの相互相関係数

Stress (怒り/ストレス) をイメージした場合の状態ベクトルに対して、

$$\begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & a_{1,135} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \cdots & a_{2,135} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & \cdots & a_{3,135} \\ a_{4,1} & a_{4,2} & \cdots & a_{4,135} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{135} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{Stress}$$

Stress をイメージしたときの相互相関係数

・・・などの連立方程式を解いて感性マトリクスを求める。

図-3 感性マトリクスの作成イメージ

るための感性マトリクスを新たに作成し、その検証を行う。

3. 実験概要

舗装路面の走行快適性評価のための脳波測定は、当研究室が所有するトラック型 DS を使用して行った。実験状況を写真-1 に、そして実験手順を図-4 にそれぞれ示す。

本実験では、舗装の路面パターンの違いが車両走行中の被験者の脳波に及ぼす影響を調べるために、正弦波の波長および振幅を変えた 1 区間 1000m の仮想路面プロファイルを作成した。実験で使用した DS は左右走行位置の縦断プロファイルを入力可能であることから、左右の路面プロファイルの位相を同じにしたものと、180 度ずらしたものをそれぞれ作成した。作成した仮想路面プロファイルの一覧を表-3 に示す。

作成した仮想路面プロファイルから車両挙動シミュレーションソフト TruckSim で車両挙動を算出し、それを DS に入力した。なお、車両挙動の算出に用いた車両パラメータは国内で使用されている標準的な大型トラック (車両重量: 8440kg, ホイールベース: 7125mm, トレッド: (前輪) 2065mm (後輪) 1850mm, タイヤ半径: 792mm) を使用した。

DS に車両挙動データを入力した後、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。助手席に座っている被験者には脳波測定中に耳栓およびアイマスクを装着してもらい、さらに電極と操作ユニットを結ぶリード線は DS の座席後部に固定することで、脳波測定中にアーチファクトが混入しないように配慮した。1 パターンの仮想路面プロファイルを走行した



写真-1 DS による実験状況



図-4 実験手順

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。

被験者は中央大学の20代の男子学生10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。ここで、本研究では脳波測定結果のバラツキを抑えるために、性別に加えて年齢、運転歴および運転頻度などの属性がほぼ同等の被験者を選定している。脳波測定は感性スペクトル解析装置ESA-16を使用し、電極は国際10-20法にしたがって頭部上の位置に計10箇所配置し、同一被験者で計3回ずつ測定した。

DS走行中の脳波の測定方法を図-5に示す。DS走行直後に脳波測定を開始し、仮想路面プロファイルの起点および終点でベンチマークをいれた。そして、脳波測定終了後に仮想路面プロファイルの走行区間の脳波を抽出した。なお、脳波測定のサンプリング間隔は200Hzとした。

4. 実験結果

(1) 再現性の確認

同一被験者で脳波を複数回測定した場合の再現性について確認を行った。その一例として、プロファイルNo.1を走行中に測定した被験者の脳波のパワースペクトル密度（以下、PSD）の比較結果を図-6に示す。なお、図中のPSD結果は、100点ごとに隣接平均で平準化したものである。

図-6の結果から、各電極ともに測定回によって若干の

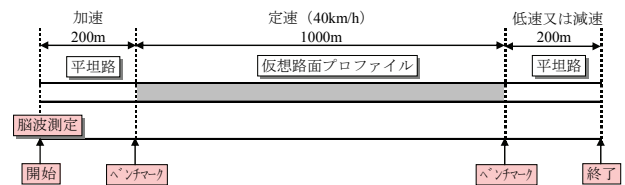


図-5 脳波の測定方法

表-3 実験に使用した仮想路面プロファイル

No.	振幅 (cm)	波長 (cm)	位相差 (度)
1	0	0	0
2	2.5	25	
3		50	
4		100	
5	5	25	
6		50	
7		100	
8	10	25	
9		50	
10		100	
11	2.5	25	180
12		50	
13		100	
14	5	25	
15		50	
16		100	
17	10	25	
18		50	
19		100	

ばらつきが見られるものの、前頭部に設置したFp1, Fp2, F3およびF4、そして頭頂部に設置したT3およびT4では、表-1に示したθ波（4Hz～7Hz）、α波（8Hz～13Hz）およびβ波（14Hz～30Hz）の周波数帯において比較的高い再現性が得られている。また、後頭部に設置したP3, P4, O1およびO2の脳波は、θ波およびβ波の周波数帯域において、前頭部および頭頂部付近の脳波よりも再現性が若干低下しているが、α波の周波数帯域では概ね良好な再現性が得られている。なお、他の被験者の場合も若干の傾向の相違は見られたものの、θ波、α波およびβ波の周波数帯域では比較的良好な再現性が得られた。

(2) 個人差の確認

被験者間の脳波の違いについて、電極ごとに確認を行った。その一例として、プロファイルNo.1を走行した場合の、各被験者のFp1の脳波のPSD比較結果を図-7に示す。なお、図中のPSD結果は、100点ごとに隣接平均で平準化したものである。

図-7の結果から、θ波、α波およびβ波の周波数帯域では、他の周波数帯域よりも被験者間の脳波のばらつきが小さいものの、その差は、図-6に示した再現性の確認結果よりも大きいことがわかる。なお、他の電極においても図-7と同様の結果が得られた。

(3) アンケート結果

脳波測定終了後に行った走行快適性のアンケート結果

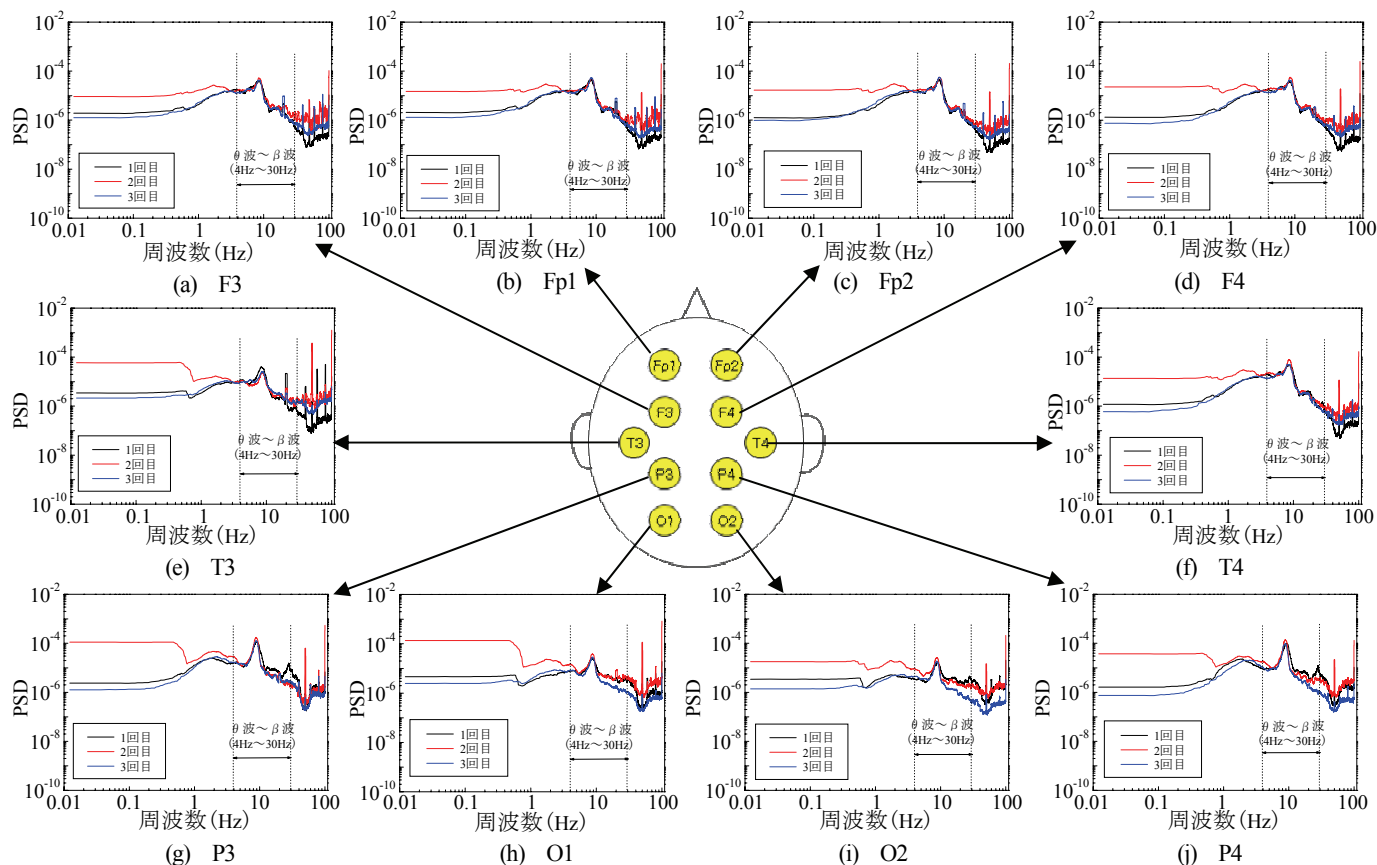


図-6 各電極における脳波の再現性の確認 (被験者1, 仮想路面プロファイルNo.1の場合)

について全被験者で平均したものを図-8に示す。なお、プロファイルNo.10は、本研究室が所有するDSの性能上、車両挙動を再現することができなかったため、被験者による実験を行っていない。

図-8の結果から、走行快適性が「非常に良い」と回答した割合が最も多いのはプロファイルNo.1, そして「非常に悪い」と回答した割合が最も多いのはプロファイルNo.19という結果となった。路面プロファイルのパターンによって車両に生じる振動が異なるため、走行快適性に関するアンケート結果、更には脳波にも影響していると推察される。

(4) 電極間の比較

被験者に設置した電極間の脳波の関連性について比較を行った。その一例として、前頭部に設置したFp1と他の電極との脳波のコヒーレンス(2つのデータの関連性を表す尺度)を全被験者で平均したものを図-9に示す。なお、コヒーレンスの算出に用いたデータは、前節までの結果から良好な再現性が得られたθ波、α波およびβ波の周波数帯域のみの脳波、そして走行快適性に関するアンケート結果から「非常に良い」および「非常に悪い」と回答した割合が多かったプロファイルNo.1およびNo.19の脳波をそれぞれ用いた。

図-9の結果から、前頭部に設置してあるFp2, F3およびF4とFp1との脳波のコヒーレンスは0.8前後と比較的高くなっているが、Fp1から離れて設置してある電極ほ

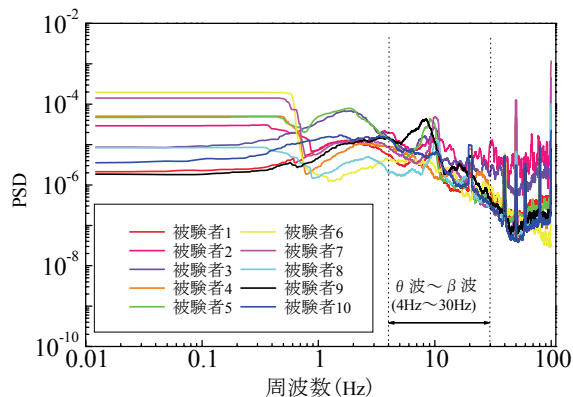


図-7 被験者間の比較

(Fp1, 仮想路面プロファイルNo.1)

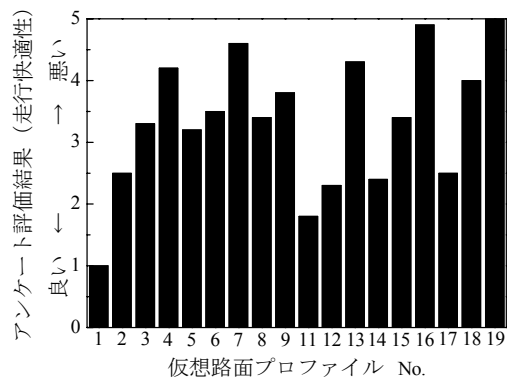


図-8 アンケート評価結果 (全被験者の平均値)

どFp1とのコヒーレンスが低くなっている。これより、路面プロファイル上を走行中の被験者の脳波は、比較的

近い部位同士で似通っているが、お互いに離れるほど部位間の脳波の関連性が低くなっていることがわかる。また、後頭部に設置してある P3, P4, O1 および O2 では、プロフィール No.1 のケースに比べてプロフィール No.19 のケースの方のコヒーレンスが高くなっている。これより、走行快適性が良いケース（プロフィール No.1）よりも悪いケース（プロフィール No.19）で各電極間の脳波の関連性が高くなると考えられる。

次に、Fp1 と隣接して設置してある Fp2 および離れて設置してある O2 とのコヒーレンスについて、プロフィール No.1 とプロフィール No.19 のケースで比較した結果を図-10 に示す。

図-10 の結果から、前節までの結果から良好な再現性が得られた θ 波、 α 波および β 波の周波数帯域において、図-10 (a) から Fp1 とそれに隣接した Fp2 のコヒーレンスは同程度、図-10 (b) から Fp1 とそれから離れた箇所を設置してある O2 は、プロフィール No.1 に比べてプロフィール No.19 の方のコヒーレンスが高くなっている。

(5) 走行快適性の違いが脳波に及ぼす影響

走行快適性に関するアンケート結果から、「非常に良い」および「非常に悪い」と回答した割合が最も多かったプロフィール No.1 および No.19 を走行中の脳波について電極ごとに PSD 比較した結果を図-11 に示す。なお、図中の PSD 結果は、100 点ごとに隣接平均で平準化したものである。

図-11 の結果から、前節までの結果で比較的反現性の高い θ 波、 α 波および β 波の周波数帯域においても、走行快適性の違いにより PSD に違いが見られる。特に、図-6 で比較的高い再現性が得られていた前頭部および頭頂部の電極（Fp1, Fp2, F3, F4, T3, T4）においても、走行快適性の違いにより PSD に違いが見られた。

5. 感性マトリクスの作成及び検証

(1) 感性マトリクス作成

前章の結果を踏まえ、走行快適性を評価するための感性マトリクスを作成した。走行快適性を評価する感性ベクトルは Good および Poor の 2 種類とし、またアンケート結果から「非常に良い」、「どちらとも言えない」および「非常に悪い」と回答した割合が最も多かったプロフィール No.1, No.5 および No.19 のケースの脳波を用いた。感性マトリクス作成に使用した脳波の周波数帯は、良好な再現性を示した θ 波、 α 波および β 波の 3 帯域とした。感性マトリクス、状態ベクトルおよび感性ベクトルの関係式を(3)式に示す。(3)式は 10 電極および 3 帯域の場合の関係式である。

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

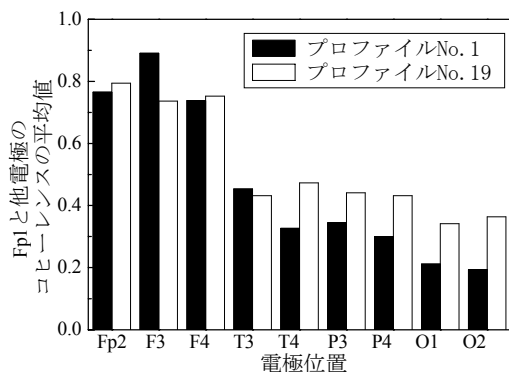
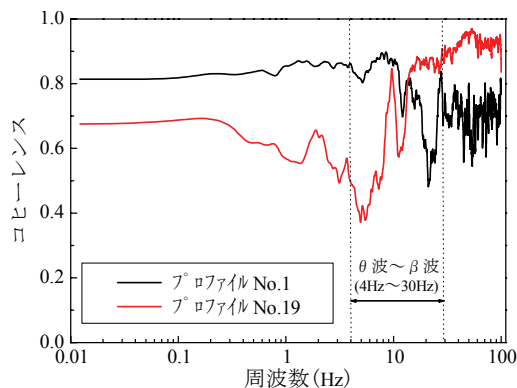
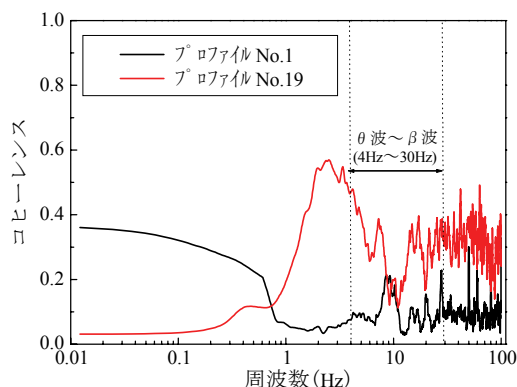


図-9 Fp1 と他電極のコヒーレンス平均値 (4Hz～30Hz (θ 波～ β 波) の場合)



(a) Fp1 と Fp2 のコヒーレンス



(b) Fp1 と O2 のコヒーレンス

図-10 コヒーレンスの比較 (被験者 1)

(3)式から走行快適性評価が「非常に良い」の脳波を用いた場合に $z_1=1$ および $z_2=0$, 「どちらとも言えない」の脳波を用いた場合に $z_1=0$ および $z_2=0$, そして「非常に悪い」の脳波を用いた場合に $z_1=0$, $z_2=1$ として、感性マトリクスを求めた。なお、感性マトリクス作成に用いた脳波の電極は、全電極 (10 箇所)、前頭部 (Fp1, Fp2, F3, F4 の 4 箇所) および後頭部 (P3, P4, O1, O2 の 4 箇所) の 3 パターンとした。また、感性マトリクスは、前章の結果から脳波の個人差が比較的大きいことを考慮し、被験者ごとに作成している。

(2) 感性マトリクスの検証

本研究で作成した 3 パターンの感性マトリクスを用いて、走行快適性のアンケートで「非常に悪い」と回答した割合が最も多かったプロフィール No.19 を走行したと

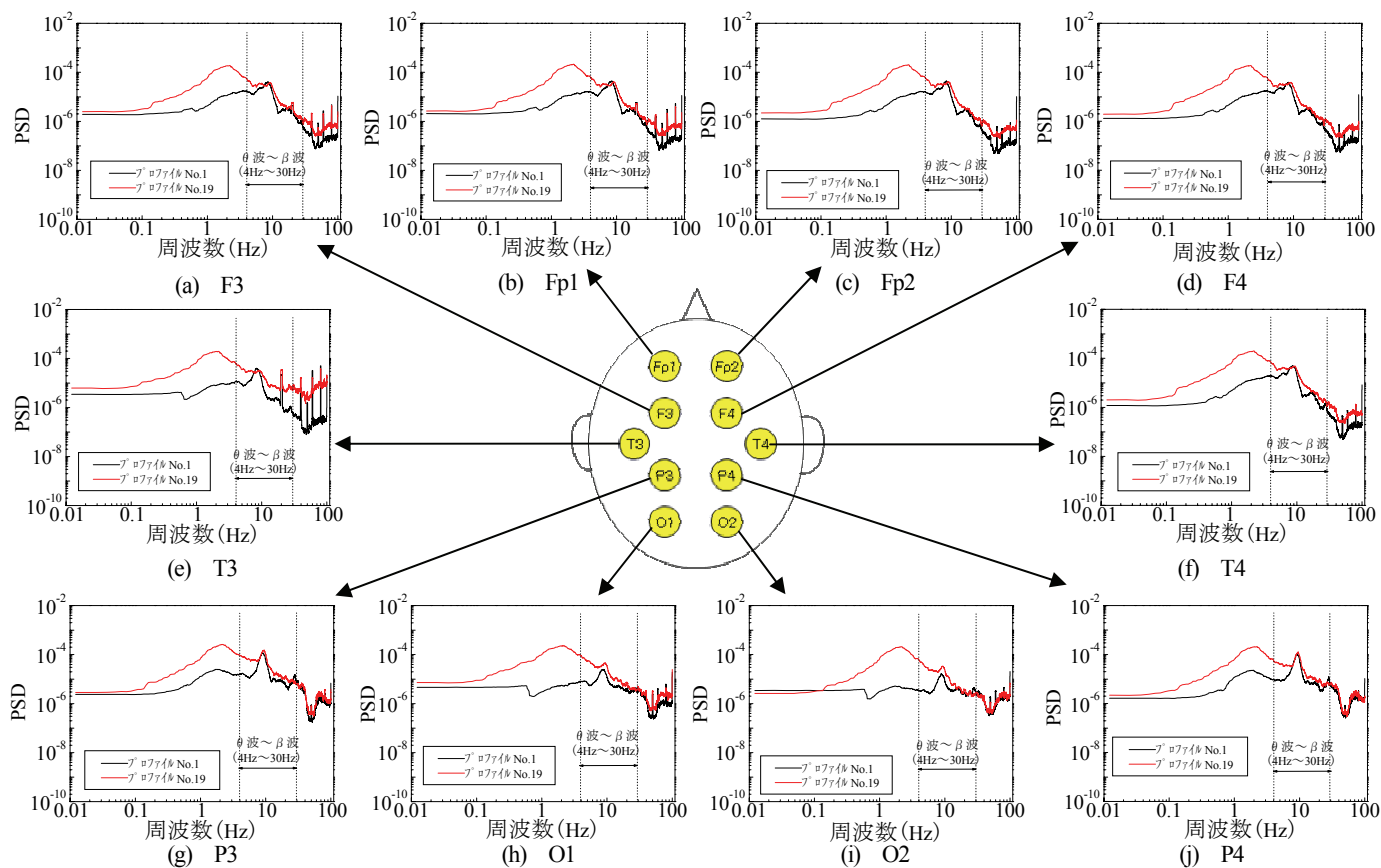
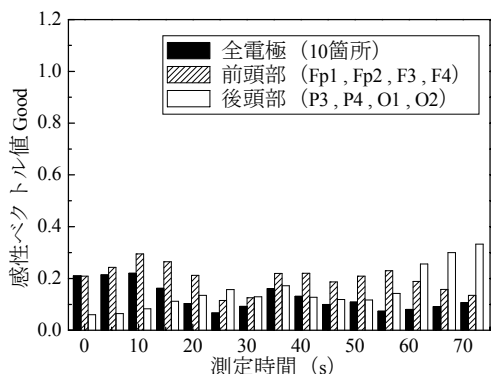
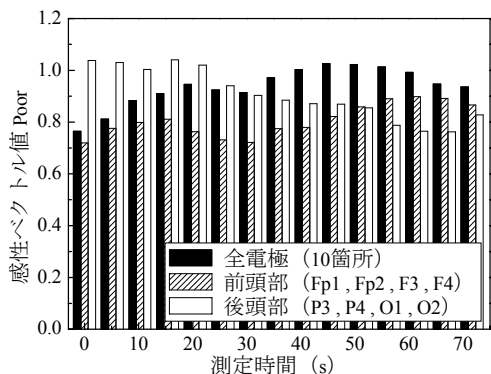


図-11 仮想路面プロファイルの違いによる脳波の比較（被験者1, 1回目の場合）



(a) 感性ベクトル値Goodの場合

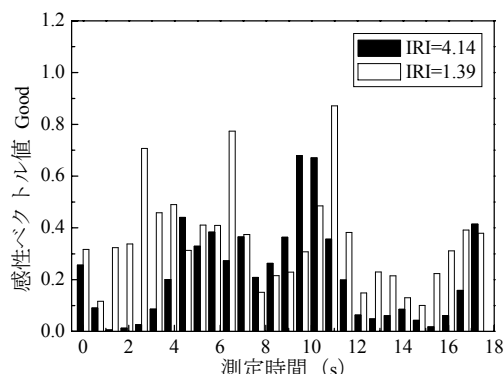


(b) 感性ベクトル値Poorの場合

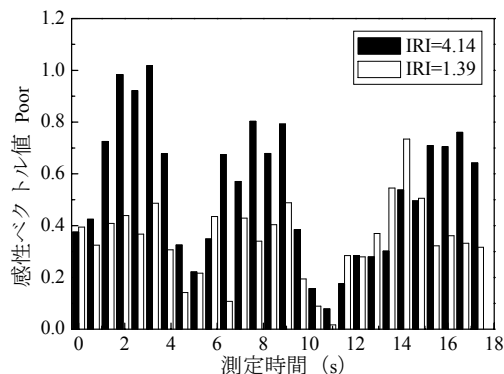
図-12 感性マトリクスの直交性の確認（プロファイル19）

きの脳波から求めた感性ベクトル値を図-12に示す。なお、感性ベクトル値は5.12sごとに算出した。

図-12の結果から、感性ベクトル値Goodは全体的に小



(a) 感性ベクトル値Goodの場合



(b) 感性ベクトル値Poorの場合

図-13 実測プロファイル走行時の感性ベクトル値

さいがPoorはその逆の傾向を示している。このことから、本研究で作成した感性マトリクスの直交性は保たれていることがわかる。換言すれば、感性ベクトル値Goodおよ

びPoor から走行快適性の良し悪しを判別することが可能であるといえる。ただし、3 パターンの感性マトリクスから算出した感性ベクトル値の間に明確な差は見られなかった。

次に、実道で測定した 2 パターンの路面プロファイルを DS 上で走行中に測定した被験者の脳波について、本研究で作成した感性マトリクスを用いて算出した感性ベクトル値を図-13 に示す。なお、DS 実験には全体の IRI が 1.39 および 4.14 の路面プロファイルを用いた。また、感性ベクトル値は 0.64s ごとに算出した。

図-13 の結果から、感性ベクトル値 Good は、IRI の小さい方が全体的に大きい、Poor はその逆の傾向であった。また、感性ベクトル値 Good および Poor の各々について t 検定を行ったところ、Good および Poor とともに有意確率が $p < 0.01$ 以下となったことから、IRI の違いによる感性ベクトル値に有意差が見られた。これより、本研究で作成した感性マトリクスを用いて走行快適性を評価できる可能性を示せたものと考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 同一被験者で脳波を複数回測定したときの再現性は、 θ 波、 α 波および β 波の周波数帯域において比較的良好であった。これは、脳波測定時のアーチファクト混入防止に配慮している効果が現れているものと思われる。
- 被験者の脳波の個人差は、脳波を複数回測定したときの再現性の結果よりも大きく現れた。従って、脳波で走行快適性を評価する場合は、個人ごとに評価を行う、あるいは基準化などを行って個人差を考慮する必要がある。
- 車両の動揺環境下における被験者の脳波は、比較的近い部位同士では似通った傾向を示すが、お互いはなれた部位ほど脳波信号の関連性が低くなる。また、走行快適性が悪くなるほど、各部位の脳波の関連性が高くなる。

- 走行快適性の違いによって被験者の脳波に相違が見られた。
- 本研究で作成した走行快適性評価用の感性マトリクスを用いて、実測プロファイルを走行中の被験者の脳波から感性ベクトル値を算出した結果、IRI の大小関係に応じた結果が得られていることが示された。

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) 榎戸靖暢, 湯川ひとみ: 舗装の乗心地評価と生体反応, ASHALT, pp.52-66
- 2) 熊田一彦, 神谷恵三, 七五三野茂: 走行快適性に着目した舗装路面の総合評価手法に関する検討, 舗装 43-7, pp.27-30, 2008.
- 3) 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.
- 4) 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, 第 12 巻, pp.197-204, 2007.
- 5) 奥津大樹, 伊藤大輔, 姫野賢治: 生理評価を取り入れた舗装表面プロファイルの評価法に関する研究, 土木学会第 56 回年次学術講演会, pp.84-85, 2001.
- 6) 武者利光: 「こころ」を測る, 日経サイエンス, Vol.26, No.4, pp.20-29, 1996
- 7) 末永和栄, 岡田保紀: 最新脳波標準テキスト, (株)メディカルシステム研修所, 2004.
- 8) 伊藤謙治, 桑野園子, 小松原明哲: 人間工学ハンドブック, 朝倉書院, 2003.
- 9) H.H.Jasper: The Ten-Twenty Electrode System of the International Federation, Electroenc.Clin.Neurophysiol, Vol.10, pp.371-375, 1958.
- 10) 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

EVALUATION OF DRIVING COMFORT OF PAVEMENT SURFACE USING BRAIN WAVE

Kyeong Hwan KWAK, Daisuke ISOZAKI and Kenji HIMENO

The purpose of this paper is to evaluate the driving simulator of the pavement surface by using brain wave. We reproduced the vehicle behavior calculated by using the pavement profile with a driving simulator, and executed the subjective assessment survey and the brain wave measurement to the subject. Next, we examined the feature of the brain wave. And, the method of emotion spectrum analysis to evaluate the driving comfort by using the brain wave was verified. As a result, the brain wave measurement shown in this paper and the mode of analysis were effective for the driving comfort evaluation of the pavement surface.