3315 脳の計測に基づくドライバの運転特性分析

Analysis of Driving Characteristic Based on Measurement of Cortical Brain Activity

○ 李 曙光 (東京大院) 杉町 敏之 (東京大生産研) 正 山邊 茂之 (東北大学)
 中野公彦 (東京大生産研) 正 須田 義大 (東京大生産研) 高橋 秀喜 ((株) 中日本高速道路)
 折野 好倫 ((株) 中日本高速道路) 山本 浩司 ((株) 中日本高速道路) 吉野 加容子 ((株) 脳の学校)
 岡 徳之 ((株) 脳の学校) 加藤 俊徳 ((株) 脳の学校)

Shuguang Li, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, 4-6-1, Meguro-ku, Tokyo

Toshiyuki Sugimachi, Institute of Industrial Science, the University of Tokyo

Shigeyuki Yamabe, New Industry Creation Hatchery Center, Tohoku University

Kimihiko Nakano, Institute of Industrial Science, the University of Tokyo

Yoshihiro Suda, Institute of Industrial Science, the University of Tokyo

Hideki Takahashi, Central Nippon Expressway Co., Ltd.

Orino Yoshitomo, Central Nippon Expressway Co., Ltd.

Kouji Yamamoto, Central Nippon Expressway Co., Ltd.

Kayoko Yoshino, KatoBrain Co., Ltd.

Noriyuki Oka, KatoBrain Co., Ltd.

Toshinori Kato, KatoBrain Co., Ltd.

In the fields of improving the highway traffic safety and developing driving assistant system, it is important to understand the relation between the driving operations and the cortical brain activity corresponding to road geometry. In this paper, we performed a series of experiments using a driving simulator on a special designed course including several left and right curves. Meanwhile, the cortical brain activity was also measured by a functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). We analyzed the characteristic differences of driving operations about left/right curves. Furthermore, accordingly difference of activation of brain regions between left/right curves was also extracted independently. Results show that fNIRS can be used in driving simulator experiments to evaluate drivers' brain activity for curve driving.

Key Words: Driver Behavior, Brain Activity, Driving Simulator, Near-Infrared Spectroscopy, Curve driving

1. 結論

近年、安全走行と燃料消費低減のために次世代の運転支援システムに関する多くの研究が取り組まれている。特に、ドライバごとの特性に合わせた運転支援を行うために、運転技能判定と運転特徴分析は注目されている。

一般的に運転特徴の分析は二つの手法がある。一つ目はドライバの運転操作データのみに着目して、ドライバの運転特性を分析する手法である。例えば、Zhang らは、ダブルレーンチェンジの実験データにおいて、熟練者と未熟練者の運転周波数特徴差を活用して、機械学習手法によってドライバスキルの判別モデルを学習する方法を提案した^[1]。李らは AdaBoost に基づく特徴抽出手法を確立して、熟練者と未熟練者の運転特徴差と違いが生じる場所が明らかとなった^[2]。

二つ目は、運転操作データと生体の脳活動の両方に着目して運転特性の解析を行う手法である。運転行為は、走行環境を認知して集められた情報を脳が処理・判断するとともに指令を出して運転操作を行うことである。そのため、運転特性を分析するために、ドライバの脳活動を計測する手法が提案されている^{[3][4]}。脳の非侵襲画像診断方法としては、近年注目されている代表的な間接計測手法は機能的磁気共鳴画像 (fMRI) と機能的近赤外分光法 (functional near-infrared spectroscopy, fNIRS) である。このような計測手法は交通分野の研究で徐々に発展している。fMRI によるドライバの脳活動を計測した研究は^[3]、fMRI は設備の使用条件が厳しく、身体の移動に敏感で、且つ金属の影響を強く受けるため、複雑な運転行為を行いながら脳の計測することは困難である。一方、fNIRS は装置の使用自由度が高く、従来困難であった複雑な運転操作中の脳計測が可能となった。fNIRS を用いて柳沼らは直線走行時の加速と減速の運転操作に対応する脳の活動の解析を行っている。しかし、アクセルとブレーキだけの単純な運転操作に留まっており、ドライバの運転特性に対して十分な解析は行われていない現状である。

そこで、本研究では、モーション装置と音響装置により実車に近い臨場感を実現することが可能なドライビングシミュレータ (DS) を利用するとともに fNIRS を導入して、新しい実験環境を構築する。この新しい実験環境により、臨場感の高い環境下におけるアクセル、ブレーキとハンドルを含む複雑な運転操作と運転走行中の脳の活性とを同期して計測し、その解析を行うことが可能となる。具体的には、左右カーブの走行時における脳の活性化状態と運転行動を計測する。左右カーブの道路線形の違いにより生じるドライバの運転特性と脳の活性の違いを分析する。

2. 研究に用いた機能的近赤外分光法 (fNIRS)

fNIRS の計測原理は、700~900nm の近赤外光を大脳皮質へ照射し、局所脳活動に伴う毛細血管内の酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) と脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb) の濃度変化を検出することである^[5] (Fig.1)。加えて、局所脳活動の指標として oxyHb と deoxyHb から脳血流量 (Cerebral blood volume: CBV) と脳酸素消費を反映する脳酸素交換量 (Cerebral oxygen exchange: COE) を算出することができる^[5]。

Fig.1 Principles of fNIRS

3. 研究に用いたドライビングシミュレータ

本研究では、DS を用い実験を行った。実験用 DS は、三つプロジェクターで構成される投影システムは道路状況、走行環境を提供できる。6 自由度スチュワートプラットフォームによりドライバは実車に近い動きを体感でき、また風騒音、エンジン音など現実に近い音響環境を作ることができる。これらの

機能によって実環境での運転に極めて近い臨場感のある運転環境が提供されている。

4. 実験

4-1 実験概要

被験者は15名（男性：8名，女性：7名，平均年齢：31.4歳 $\pm$ 4.4）。全ての被験者に、インフォームドコンセントを得た上で実験を行った。

実験コースとして仮想高速道路を作成した（Fig. 2）。コースは、スタート地点から1000mまでを加速区間として直線部を用意し、その後、緩和曲線を付けて曲率半径R=600mの曲線部を10箇所配した。なお本実験では、左右の曲線部を繰り返し走行するが、この際の脳反応に前曲線部の反応が残置することを避けるため、曲線部と曲線部の間に600mの直線部を配し、全長15.95kmの高速道路とした。本コースは直線部で2.5%、緩和曲線で2.5~8.0%、曲線部で8.0%程度の片勾配を設け、縦断勾配は全区間で設けなかった。運転条件では、被験者に加速区間で車両走行条件速度(100km/h)まで加速させ、実験コースを100km/hを保持して走行するように指示した。実験コースは左右カーブがそれぞれ5回で、一人当たり左右カーブの走行を各5回行った。

Fig.2 Course and scenario

4-2 fNIRS 計測と解析

脳計測は、多チャンネル NIRS 装置（島津製作所製，FOIRE-3000）を DS の背部に設置して行った（Fig. 3）。3波長の近赤外光（780,805,830nm）を頭皮から照射し、頭蓋内を通過した散乱光を検出するファイバ（計32本）を被験者の頭部に装着した。計測部位は両側の前頭葉，足の領域を含む運動野，頭頂葉とし，計48ch（48カ所）の計測点を設置した。

Δ oxyHb と Δ deoxyHb は、70ms ごとにサンプリングした。fNIRS の解析は、生体特有の周波数をカットするために、0.1Hz のローパスフィルタ処理をした後、 Δ oxyHb と Δ deoxyHb から Δ COE と Δ CBV を算出した^[5]。被験者ごとに、カーブの始点を基準にして、 Δ COE と Δ CBV の左右カーブ走行（各5施行）の平均変化波形を算出した。カーブ走行中の1秒当たりの Δ COE と Δ CBV の変化量を算出した。チャンネルごとに全被験者の1秒当たりの Δ COE と Δ CBV の変化量を算出し、左右カーブの脳反応をマッピング解析した。

Fig.3 Multichannel fNIRS and image of experiment

5. 実験結果

被験者は15名で、全150回走行（左右各75回）を対象として運転特性を分析した。ここでは、実験結果の一例について紹介する。左右カーブ各75回走行におけるアクセル踏込量

のデータを距離によって正規化して分布図を作成した（Fig. 4）。両カーブのピーク値は約19%だった。然し、右カーブの方がピーク値は小さく、16%~18%の区間にサンプル数が多いので、右カーブの方がアクセルの振動が頻繁であると示唆された。

Fig. 4 Distribution of acceleration pedal position

Fig.5に示すように下肢運動を司る一次運動野で、左カーブでは Δ COE が増加したが、右カーブでは Δ COE が減少した。 Δ COE の増加は、脳酸素消費の亢進を示す。つまり、下肢運動に伴う一次運動野の活動は、右カーブより左カーブで亢進した。

Fig.5 functional brain mapping analysis in left/right curve driving

6. まとめ

運転操作データと fNIRS を用いた脳活動の両方に着目して、DS で仮想高速道路運転中の左右カーブ走行の実験を行った。左カーブと右カーブ走行の間には、運転特性と脳活動の両方で差異を認めた。DS 下での運転操作データと fNIRS の同時計測の有用性が示唆されたので、今後、引き続きデータを解析し、将来は道路交通安全の評価などへの応用を行う予定である。

参考文献

- [1] Yilu Zhang, etc. A Pattern-recognition approach for driving skill characterization. IEEE Transactions on Intelligent Transportation System, 2010: Vol.11, No.4, 905-916.
- [2] 李曙光, 山邊茂之, 佐藤洋一, ナイワラ・P・チャンドラシリ, 那和一成, 松村健, 田口康治, カーブ走行の操舵に着目したドライバの運転特徴抽出に関する研究, 自動車技術会論文集, 2012, Vol.43, No.6, 1387-1392
- [3] Yuji Uchiyama, etc, The neural substrates of driving at a safe distance: a functional MRI study, Neuroscience Letters, 2003: Vol. 352, Issue 3, Pages 199-202
- [4] 柳沼健, 綱島均, 丸茂喜孝, 小島崇, 伊藤誠, 稲垣敏之, 自動車運転時における前頭連合野の高次脳機能計測, 日本機械学会第16回交通・物流部門大会講演論文集, 2007, No.07-51, 297-300
- [5] Toshinori Kato, etc. Human visual cortical function during photic stimulation monitoring by means of near-infrared spectroscopy. Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism, 1993: Vol.13, No.3, 516-520
- [6] Toshinori Kato. Apparatus for evaluating biological function. 2006, WO/2003/068070.