

前方衝突警報を用いた自動車運転時の脳活動計測

日大生産工（院）	○若林 翔太	日大生産工（院）	柳沢 一機
日大生産工	綱島 均	日大生産工	丸茂 喜高
筑波大学大学院	伊藤 誠	筑波大学大学院	稲垣 敏之

1. 緒論

近年、ドライバの運転時の認知・判断を支援し、安全を確保する運転支援システムが開発・導入されている。例えば、先行車への衝突を事前に検知して警報を作動させる前方衝突警報システム(FCWS)などが挙げられる。しかし、運転支援システムによる負担の軽減やシステムへの過信によって、ドライバが注意を怠るようになってしまう事や危険な運転行動をとるようになり、予期せぬ事故の原因になることが考えられる。そのため、安全な運転支援システムの開発のためには運転時のドライバの注意を評価する必要がある。特に、運転中の知覚・認知・判断を行っている脳の活動とドライバの注意の関係について明らかにする事によって安全な運転支援システムの開発につながると考えられる。

脳活動を評価する非侵襲的計測法には、主に機能的磁気共鳴画像 (fMRI: functional magnetic resonance imaging) や近赤外分光法 (NIRS: Near-Infrared Spectroscopy) があげられる。fMRI は、脳内の酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) が脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb) に変化するときの磁気共鳴信号の増加を利用して、間接的に脳活動を測定する方法である。しかし、計測中に被験者は体を動かすことができず、運転時の測定には制限がある。一方の NIRS は近赤外光を用いて、oxy-Hb と deoxy-Hb の変化量を測定する装置であり、体動の制限が少なく、被験者に対して自然な状態で実験が行えるため、運転時の脳機能の評価を行う上で有望な方法である。

現在，NIRS 計測によるドライビングシミュレータ（以下，DS と記す）を用いた実験^{1,2)}や，実車実験³⁾が報告されている．しかし，これらの研究はドライバの負担軽減を評価しているもので，運転時の注意を脳機能から評価する研究は十分に行われていない．

本研究では、ドライバの注意について脳活動からの評価の可能性を検討した。DSを用いて先行車追

従実験を行い、先行車急減速時における前方衝突警報の有無による脳活動の違いを、NIRSを用いて計測された信号から検討した。

2. 近赤外分光法 (NIRS) の原理

NIRS は、近赤外光を用いて脳血流の変化を計測することによって、間接的に脳活動を捉える非侵襲的計測法である。神経活動が生じる部位では、局所的に血流が増加し、血中のヘモグロビンの濃度に変化する。近赤外分光法は、生体への透過性が良好な 700~900nm の波長の近赤外光を照射し、その透過光・拡散光から oxy-Hb, deoxy-Hb の濃度変化を計測することが可能である。しかし、計測された値は、絶対量ではなく、相対量であることから、その扱いには注意しなければならない。

脳が活動するときの oxy-Hb, deoxy-Hb の変動の様子を模式的に図 1 に示す. 一般的には, 課題が始まると oxy-Hb が上昇し, 少し遅れて deoxy-Hb が減少することが知られている⁴⁾.

3. 実験方法

3.1. 実験内容

ドライバの注意について脳活動からの評価の可能性を検討するために、DSを用いて先行車追従中に先行車が急減速を行う実験を行った。

実験に使用した DS を図 2 に示す。実験には、HONDA ドライビングシミュレータ（視野角 138°）を使用した。先行車の速度パターンを図 3 に示す。実験デザインは停止 15 秒、走行区間、停止 15 秒を 1 試行とした。走行区間は同じ速度パターンであると被験者が減速のタイミングに気づく可能性が考えられる。そのため 30、45、60 秒の 3 種類のタスクをランダムに 2 度配置し、6 試行繰り返した。1 試行目の初めの停止のみ、エンジンの始動などの影響によって脳活動が大きくなることが考えられるため、走行前の停止時間を 40 秒とした。

実験は前方衝突警報のある条件と、前方衝突警報のない条件を設定し、先行車追従走行を行い、

Measurement of driver's brain activity using forward collision warning system

Shouta Wakabayashi, Kazuki YANAGISAWA,

Hitoshi TSUNASHIMA, Yoshitaka Marumo

Makoto Itoh and Toshiyuki Inagaki

そのときの脳活動を計測した。また、実験前に DS に慣れるために、数回練習走行を行った。その後、実験デザインの異なる 2 種類の先行車速度パターンを設定し、それぞれ、最初に前方衝突警報のある条件で実験を行い、その後警報なしの順で走行した。

走行コースは、カーブ地点や合流地点を有した高速道路を模擬した片側 2 車線の道路とした。先行車と車間時間を一定に保つように自車の速度制御を行い、実験条件を統一した。被験者には加速・一定速度区間では、ステアリング操作のみを行い、先行車が減速を行った場合のみ減速操作を行うように教示した。

警報は、先行車が急減速を行う 2 秒前にコースの投影された DS 画面の中央上部に画像で表示し、同時に音での表示も行った。またブレーキランプ点灯による単純反応を防ぐため、先行車を減速させずにブレーキランプのみを点灯させるダミーブレーキを設定した。

3.2 測定条件

NIRS を用いて、被験者の運転中の前頭葉の脳活動を計測した。測定装置は島津製作所 OMM-3000 を用いた。光ファイバの配置を図 4 に示す。送光ファイバと受光ファイバ間の数字が測定チャンネルを示し、全 42ch 計測を行った。

被験者は、普通自動車免許を持つ 20 代男性 8 名とした。実験の実施前には実験の趣旨説明とあわせてインフォームドコンセントを行った。また、脳活動の計測と合わせて、ペダル操作量や速度、加減速度等の運転操作を DS により記録した。

4. NIRS 信号解析と結果

4.1 多重解像度解析の結果

NIRS 信号には、測定装置のノイズ、呼吸による影響、血圧変動など脳活動には無関係な信号が含まれるため、詳細な脳活動の評価を行うために、これらの無関係な信号を取り除く必要がある。そこで離散ウェーブレット変換による多重解像度解析を用いて、測定した NIRS 信号を分解し、実験課題に関連する成分について再構成を行った⁵⁾。

実験中の先行車への衝突などにより実験をやり直す回数が多い、適切な注意を行なえていないと考えられる 2 名を除外し、計 6 名を対象とした。ある被験者 1 名分の多重解像度解析後の前方衝突警報ありの結果を図 5 に、前方衝突警報なしの結果を図 6 に示す。図 5(a)より、前方衝突警報を用いた場合には走行区間において先行車追従に関連した oxy-Hb の変動は見られなかった。さらに、再構成した oxy-Hb 信号から脳機能画像を作成した。前方衝突警報を用いて実験を行った際の脳

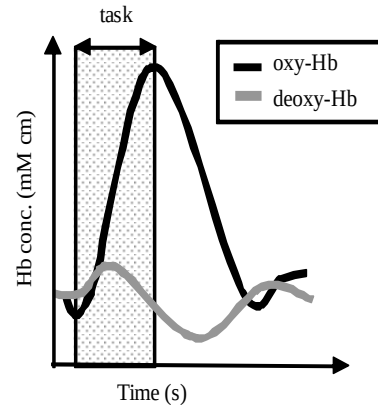


Fig.1 Schematic Hb concentration change due to neural activity



Fig.2 Driving Simulator

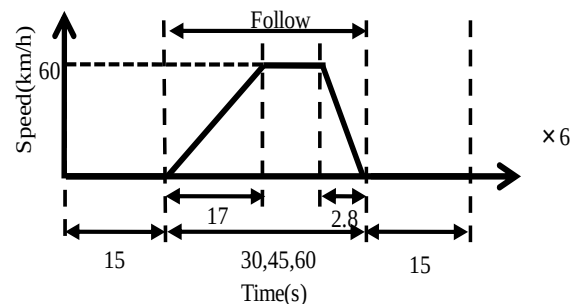


Fig.3 Speed pattern of leading car

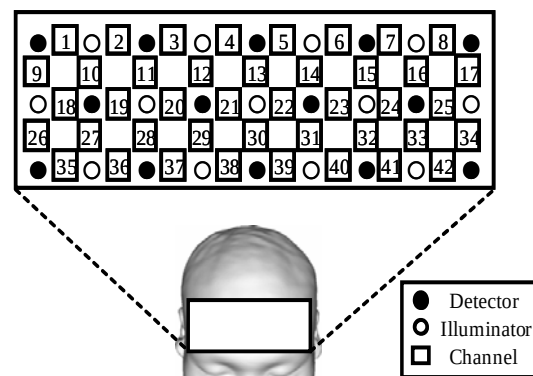
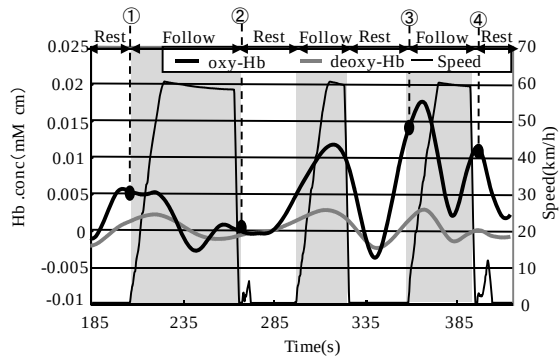
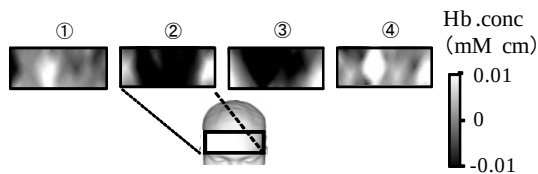


Fig.4 Position of optical fibers and channels

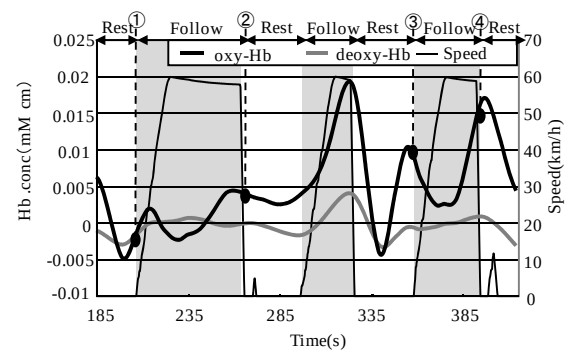


(a) NIRS signal (channel 35)

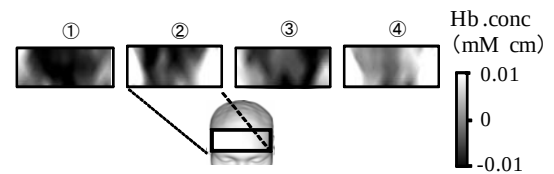


(b) Functional brain imaging

Fig.5 Result of following a leading vehicle with FCWS



(a) NIRS signal (channel 35)



(b) Functional brain imaging

Fig.6 Result of following a leading vehicle without FCWS

機能画像を図 5(b)に示す. 図中の白色部分が活動のある部位を示しており, 減速操作を行っている際に, 前頭葉において関連した活動はみられなかった.

図 6(a)より, 前方衝突警報のない場合には走行区間において先行車追従に関連し oxy-Hb の値が上昇している. さらに警報のある場合と比較すると, 警報のない場合に顕著に賦活していることが確認できる. 図 6(b)に脳機能画像の結果を示す. この結果からも, 運転操作に関連して前頭葉両外側部が賦活しており, 警報のない場合に顕著に賦活していることが確認できる. これらの結果は他の被験者からも同様の傾向が見られた.

このことから, 運転行動に関連して前頭葉両外側部が賦活し, 前方衝突警報のない場合において前頭葉両外側部の賦活が顕著になることが確認できた. この結果は, 警報がないことによって, ドライバが先行車の減速に常に注意を払う必要があるため, 脳が賦活したと考えられる.

4.2 標準得点化による加算平均

NIRS 信号はその原理上, 開始時からの相対変化の値であり, このままでは, 被験者間での測定値の比較や被験者全員の測定結果の加算などを行うことができない. そのため被験者全員の結果を評価することが難しい. そこで, 多重解像度解析を行った後の oxy-Hb, deoxy-Hb それぞれのデータを各チャンネルで平均が 0, 標準偏差が 1 になるように標準得点 (Z-score) 化を行った.

その結果から前方衝突警報のない場合と, 前方衝突警報を用いた場合の 2 条件の被験者 6 名分の加算平均を求めた^{2,4)}.

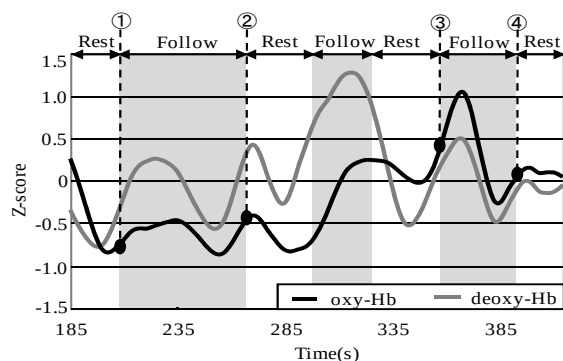
図 7 に前方衝突警報ありの加算平均の結果, 図 8 に前方衝突警報のなしの加算平均の結果を示す. 図 7(a)より, 運転操作に関連した oxy-Hb の値の変動は確認できなかった. さらに, oxy-Hb 信号から作成した脳機能画像を図 7(b)に示す. 図中の白色部分が活動のある部位を示しており, その結果からも運転操作に関連した前頭葉の賦活は確認できなかった.

図 8(a)より, 警報のない場合において, 運転行動に関連して oxy-Hb の値が上昇していることが確認できる. さらに, 脳機能画像を図 8(b)に示す. この結果についても, 警報のない場合において, より前頭葉両外側部において賦活していることが確認できた.

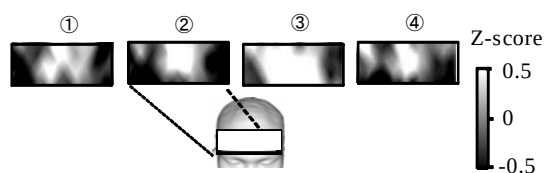
以上のことから, 被験者 6 名分の一般的な傾向からも, 前方衝突警報のない場合において, 前頭葉両外側部が顕著に賦活する事が確認できた. 前頭葉両外側部を計測する事により, ドライバの注意について, 脳活動からの評価の可能性を示した.

5. 結言

運転時のドライバの注意について脳活動からの評価の可能性を検討するために, DS を用いて, 先行車追従中に先行車が急減速する実験を行い, 前方衝突警報の有無の条件を設定し, 脳活動の計測及び条件間での比較を行った.



(a)Averaged NIRS signal (channel 35)



(b)Functional brain imaging

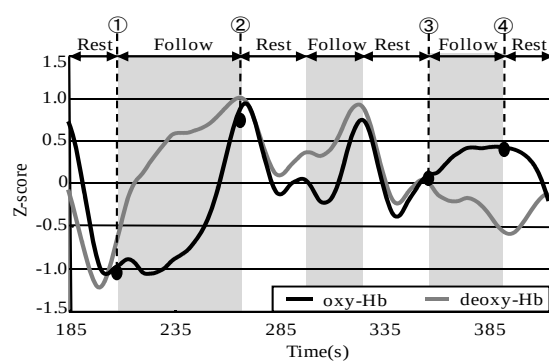
Fig.7 Averaged result of following a leading vehicle with FCWS

多重解像度解析の結果、警報のない場合において運転操作に関連してoxy-Hbの値が上昇する事が確認できた。さらに、一般的な傾向を求めるために標準得点化によって被験者6名分の加算平均を求めた。その結果、前方衝突警報なしの場合において前頭葉両外側部の賦活が顕著であることが確認できた。酒井らによって注意時に外側部が注意制御の働きを担い、注意分配を行っていると言われている⁶⁾。そのため警報のない場合において両外側部が運転操作に関連して賦活したと考えられる。警報のない場合は、常に先行車の減速に注意を払わなければならない。そのために警報のない場合において、先行車の減速に対しより多くの注意が分配され、前頭葉両外側部の賦活が顕著に現れたと考えられる。

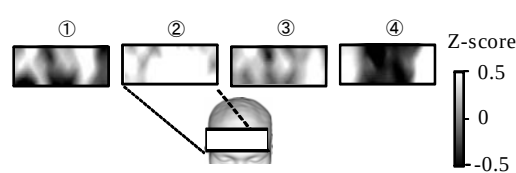
常に先行車の減速に注意を払う必要があるため、警報のない場合に脳の賦活が顕著に現れたと考えられる。

以上のことから、前頭葉両外側部を計測する事によって、前方衝突警報を用いた先行車追従実験においてドライバの注意を脳活動から評価する事の可能性を示した。

本研究は、文部科学省科学研究費補助金基盤研究A(課題番号 21241041 自然な運転状況の中での人間-機械双心型多層の追突回避型マネジメント:研究代表者 筑波大学大学院 伊藤誠)の補助を受けた。記して謝意を示す。



(a)Averaged NIRS signal (channel 35)



(b)Functional brain imaging

Fig.8 Averaged result of following a leading vehicle without FCWS

「参考文献」

- 1) 広瀬悟, 清水俊行, 南部起可, 柳沢一機, 丸茂喜高, 綱島均, 土師知己, 泰羅雅登: 機能的近赤外分装置 (fNIRS) によるドライバーの脳活動計測, 自動車技術会論文集, No.40, Vol.6(2009), pp.681-686
- 2) Tsunashima, H., Yanagisawa, K.: Measurement of Brain Function of Car Driver Using Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS), Computational Intelligence and Neuroscience, Vol.2009 (2009).
- 3) 清水俊行, 南部起可: 機能的近赤外分光法による実車運転時の脳活動の測定, 自動車技術会論文集, No.41-6(2010), pp.1263-1268
- 4) 小川誠二, 上野照剛: 非侵襲・可視化技術ハンドブック - ナノ・バイオ・医療から情報システムまで - ; 株式会社エヌ・ティー・エス, 第3章 (2007)
- 5) 柳沢一機, 綱島均, 丸茂喜高, 広瀬悟, 清水俊行, 泰羅雅登, 土師知己: 機能的近赤外分光装置(fNIRS)を用いた高次脳機能計測とその評価, ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.11, No.2(2009), pp.183-192
- 6) 酒井浩, 加藤寿宏: 注意制御課題実施時の前頭前野領域における血中ヘモグロビン濃度の変化 - 仮名拾いテストを用いた検討 -, 京都大学医学部保健学科紀要健康科学, 第3巻, pp.7-15. 2006