

NIRS を用いた高次脳機能計測とその評価

－ 運転支援システムによるドライバの負担軽減の評価 －

生産工学部（院） ○柳沢 一機

生産工学部 丸茂 喜高

生産工学部（院） 原 久純

筑波大学 伊藤 誠

生産工学部 綱島 均

筑波大学 稲垣 敏之

1. 緒論

近年、ドライバの運転時の負担を軽減することで、安全を確保する様々な運転支援システムが開発・導入されている。例えば、前車と自車との車間距離を一定に保つ ACC (Adaptive Cruise Control) や、操舵支援によって車線を維持するレーンキープアシストなどが挙げられる。しかし、負担の軽減によって、ドライバの注意力が低下し、予期せぬ事故の原因になることが考えられる。すでに運転支援システムの導入にともなうドライバのネガティブな行動変化が報告されており¹⁾、より安全な運転支援システムの開発には、ドライバの運転時の負担・注意を評価する必要がある。特に、運転中の認知・判断を行っている脳の活動とドライバの負担・注意の関係について明らかにする必要がある。

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 計測による暗算課題²⁾やドライビングシミュレータ³⁾を用いた実験における脳活動が報告されている。

本研究では、前記の ACC による運転負担の軽減を脳活動から評価できるか検証する。ドライビングシミュレータを用いて、先行車を追従する課題を設定し、ACC を用いずに被験者自らの操作によって追従する条件と ACC を利用して追従する 2 条件で実験し、その脳活動を比較する。

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が変化する。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。

3. 実験方法

3.1. 課題内容

ACC による運転負担軽減の効果を脳活動から評価することができるか検証するために、ドライビングシミュレータを用いて、図 2 に示す速度パターンを持った先行

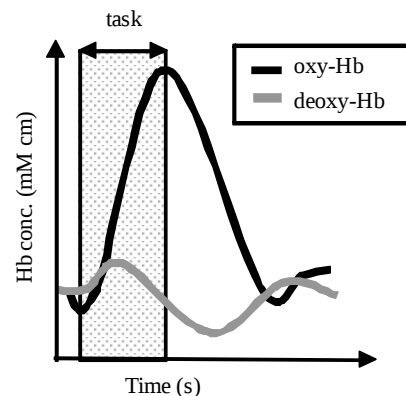


Fig.1 Schematic Hb concentration change due to neural activity

Measurement and Evaluation of Higher Brain Function by Using Near-Infrared Spectroscopy(NIRS)

－ (Evaluation of Reduction in Driver's Mental Workload by Driving Assistance System) －

Kazuki YANAGISAWA, Hisazumi HARA, Hitoshi TSUNASHIMA, Yoshitaka MARUMO,
Makoto ITOH and Toshiyuki INAGAKI

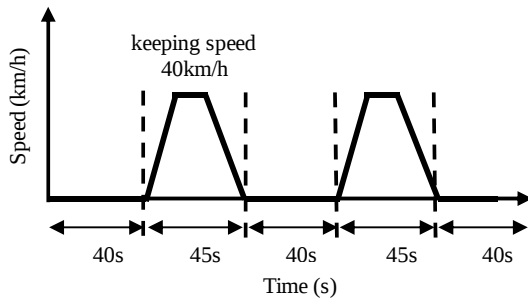


Fig.2 Speed pattern of leading car

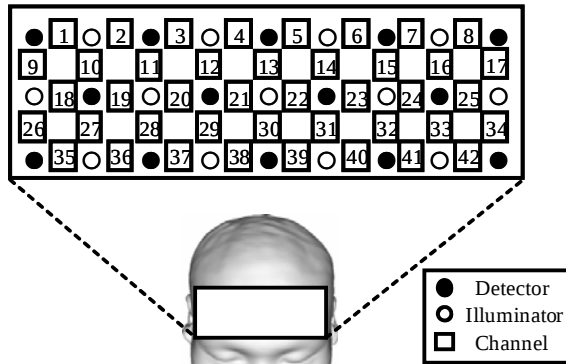


Fig.3 Position of optical fibers and channels

車を追従する実験を行った。ACC を利用して先行車に追従する条件と ACC を用いずに被験者自らの操作によって追従する2条件を行い、そのときの脳活動を比較する。被験者は、ドライビングシミュレータにある程度慣れるために練習走行を行い、その後、各条件について2回ずつ走行するものとした。最初に ACC を利用する条件を行い、ACC を用いず被験者自ら操作する条件では、ACC 利用時と同程度の車間距離を維持するように教示した。

3.2. 測定方法

NIRS を用いて、前頭葉の脳活動を計測した。測定装置は島津製作所製、近赤外光イメージング装置 OMM-3000 を用いた。光ファイバの配置を図3に示す。送光ファイバと受光ファイバの間にある図中の数字の部分に測定チャンネルを示し、全42ch 計測した。被験者は、普通自動車免許を持つ20代男性10名とした。また、脳活動の計測と合わせてドライバの運転操作もドライビングシミュレータにより記録した。

4. NIRS 信号の解析

4.1. 離散ウェーブレット変換による多重解像度解析

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も含まれるため、詳細な脳活動の評価を行うためには、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、運転課題に関連する成分について再構成した⁴⁾。

4.2. 多重解像度解析結果

ACC を利用せずに被験者自ら操作して先行車に追従したときと ACC を利用して追従したときの脳活動（前頭葉右外側部 35ch）と車両速度の関係をそれぞれ図4, 5に示す。

図4(a)より、被験者自ら操作しているときは、車両速度に関連して oxy-Hb, deoxy-Hb が変動している。車両が加速し始めると、oxy-Hb が上昇を始め、減速時に高い値を示している。さらに、再構成した oxy-Hb 信号から脳機能画像を作成した。被験者自ら操作しているときの脳機能画像を図4(b)に示す。減速操作を行っているときに前頭葉両外側部の oxy-Hb が上昇していることがわかる（図中の白色部分）。このことから被験者自ら操作しているときは、運転操作に関連して前頭葉両外側部が活動することが確認できた。

しかし、図5(a)より、ACC を利用しているとき、oxy-Hb, deoxy-Hb は変動しているが、車両速度には無関係な変動を示した。図5(b)の脳機能画像からも、走行中に oxy-Hb は上昇しておらず、運転操作に関連した脳活動が見られないことがわかる。

4.3. oxy-Hb の微分値による評価

ACC による運転負担軽減を脳活動から評価するために、oxy-Hb の傾きの最大値に注目して検定を行った⁵⁾。被験者自ら運転操作を行っているときと ACC 利用時それぞれについて、被験者10名の走行中の微分値の最大値をまとめた結果を図6に示す（前頭葉右外側部 35ch）。被験者自ら運転操作を行っている時のほうが、ACC 利用時と比較して、oxy-Hb の微分値が高く、この2条件間に有意差が確認できた。

4.4. 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ため、被験者全員の結果を評価することが難しい。そこで、NIRS によって計測された 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）化し⁶⁾、被験者全員の多重解像度解析後の信号から、被験者自ら操作しているときと ACC を利用しているときの2条件の被験者10名の加算平均を求めた。図7に被験者自ら操作しているとき、図8に ACC を利用しているときの加算平均した結果を示す。

図7(a)より、被験者自らが操作しているときは、走行中に oxy-Hb が上昇し、走行の後半に高い値を示しており、図7(b)の脳機能画像からも一般的な脳活動として、減速操作時に前頭葉外側部が活動することが確認できた。

図8(a)より、ACC を利用しているときは、走行中に oxy-Hb はあまり上昇していないことがわかる。図8(b)の脳機能画像からも ACC を用いずに被験者自らが

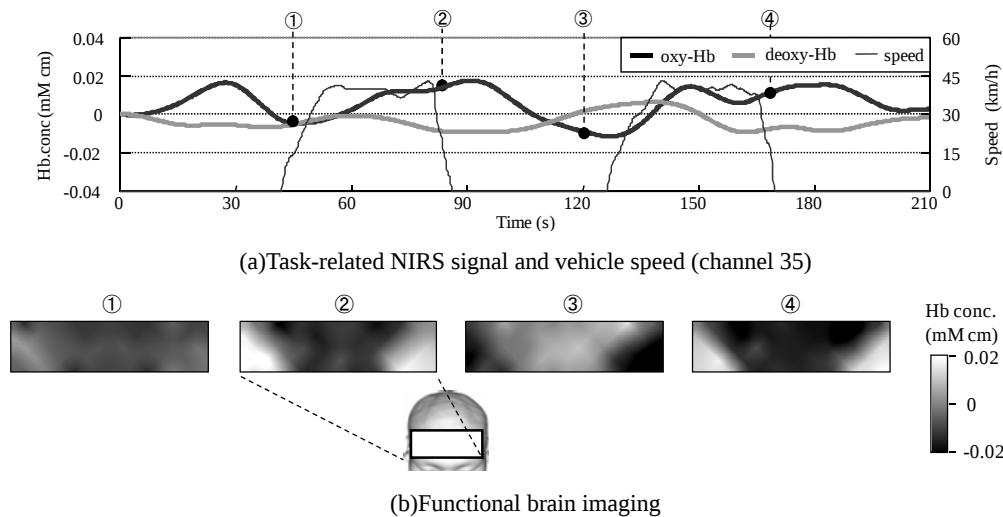


Fig.4 Result of following a leading vehicle without ACC system

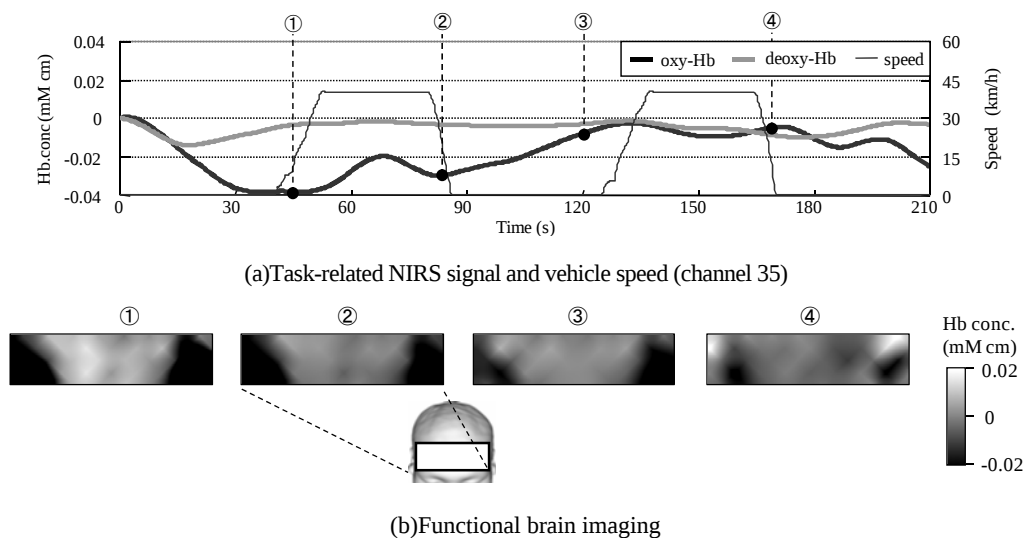


Fig.5 Result of following a leading vehicle with ACC system

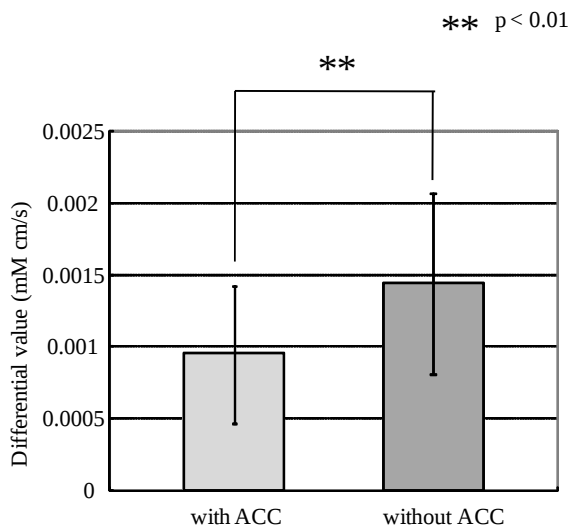
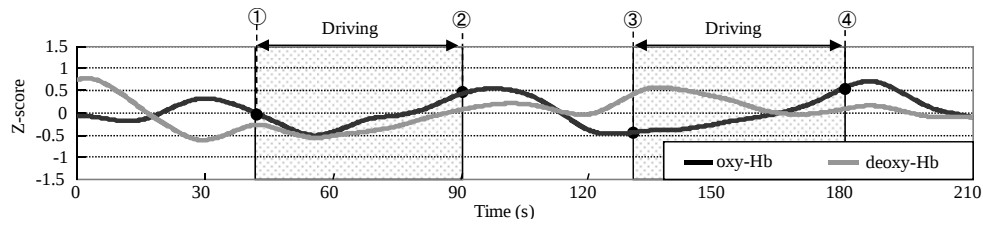


Fig.6 Maximum gradient of NIRS signal (channel 35)

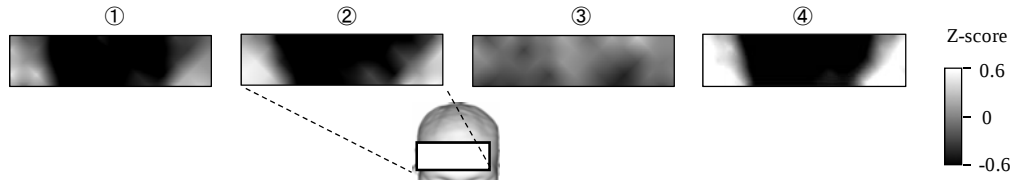
運転しているときと比較して、前頭葉は活動していないことがわかった。この結果は、ACCによる運転負担の軽減を反映した結果であると考えられる。

5. 結言

ACCによる運転負担軽減を脳活動から評価できるか検証するために、ドライビングシミュレーションを用いて、先行車を追従する課題を設定し、ACCを用いずに被験者自らの操作によって追従する条件とACCを利用して追従する2条件を設定して実験を行った。多重解像度解析の結果、被験者自らが操作するときは、運転操作に対応して前頭葉両外側部が賦活しているのに対して、ACCを利用しているときは運転操作に関連した活動を示さなかった。oxy-Hbの微分値に注目し、この2条件間の検定を行った結果、有意差 ($p < 0.01$) が確認できた。

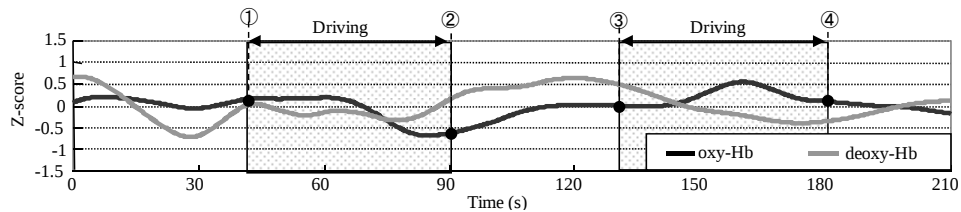


(a)Averaged NIRS signal (channel 35)

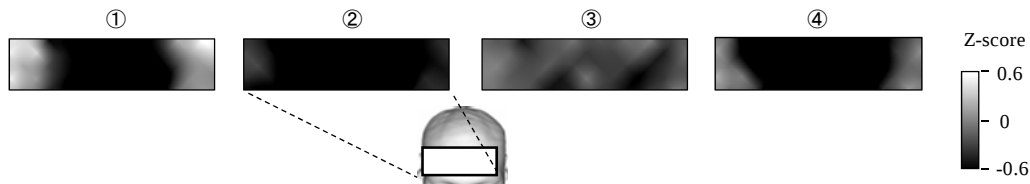


(b)Functional brain imaging

Fig.7 Aaveraged result of following a leading vehicle without ACC system



(a)Averaged NIRS signal (channel 35)



(b)Functional brain imaging

Fig.8 Averaged result of following a leading vehicle with ACC system

さらに、標準得点化によって、被験者 10 名の加算平均を求めた結果、一般的な傾向としても、被験者自ら運転しているときと比較して ACC を利用しているときは、走行中に前頭葉両外側部がほとんど賦活しないことが確認できた。以上のことから、NIRS を用いた脳機能計測からドライバの負担や注意を評価し、運転支援システムの評価が行える可能性を示した。

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 18201031 非拘束モニタリングにもとづく追突防止支援と過信抑制インターフェイス：研究者代表 筑波大学大学院 伊藤誠) の補助を受けた。

「参考文献」

- 1) M.Hoedemaeker., K.A. Brookhuis, Behavioural adaptation to driving with an adaptive cruise control (ACC), Transportation Research Part F, Vol.1, (1998), pp.95-106
- 2) 小島崇, 柳沼健, 綱島均, 広瀬悟, 清水俊行, 塩沢友規, 泰羅雅登, 土師知己, 機能的近赤外分光装置 (fNIRS) を用いた作業負荷時の高次脳機能計測, 自動車技術会学術講演前刷集, No.60-07, (2007), pp.19-22

- 3) Tsunashima, H., Yanagisawa, K., Measurement of Brain Function of Car Driver Using Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS), Computational Intelligence and Neuroscience, (2009), Vol.2009

- 4) 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, ヒューマンインターフェース学会誌, Vol.11, No.2, (2009), pp.183-192

- 5) 広瀬悟, 清水俊行, 南部起可, 柳沢一機, 丸茂喜高, 綱島均, 泰羅雅登, 土師知己, 機能的近赤外分光装置(fNIRS)によるドライバーの脳活動計測自動車技術会秋季大会前刷集, No.144-08, (2008), pp.5-10

- 6) 細川豊治, 風井浩志, 八木照宏, 片寄晴弘, 虚偽検出場面における新たな計測手法 -機能的近赤外分光法を指標として-, ヒューマンインターフェース学会誌, Vol.10, No.2, (2008), pp.141-148