

ウェアラブル NIRS を用いたドライバの脳機能の計測に関する研究

日大生産工 (院) ○相澤 勇樹 日大生産工 綱島 均

1. 研究背景と目的

交通事故削減や渋滞緩和など交通に関する問題解決手段として自動運転が注目されている。自動運転について、SAEによってレベルが6段階に定義されている¹⁾。この自動運転の定義によると、レベル4、5はドライバの状態にかかわらず自動運転システムが車両操舵を行うと定義されているのに対し、レベル2までは環境監視をドライバが行い、ドライバが全てあるいは一部の運転タスクを担当する。レベル3では自動運転システムが全ての運転タスクを実行するが、自動運転システムの作動継続が困難な場合は、ドライバの対応が必要であることが示されている。

現在、自動運転技術で実現されているものはレベル2の自動運転であるが、今後はレベル3の自動運転技術が確立されることが考えられる。その際に、ドライバが適切に運転できる状態でない場合、誤った操作による事故が発生する可能性が考えられる。自動運転から手動運転に切り替わり、ドライバが運転を開始するまでの時間が長くなることから、自動運転から手動運転の切り替り場面での危険性が指摘されている。そのため、ドライバが安全に運転できる状態かどうかをモニタリングする必要がある。

ドライバをモニタリングするシステムについて、心拍や呼吸、瞬目など様々な方法によって研究が行われており、ドライバのストレスや運転のし易さ、覚醒度などを計測した研究が行われている。また、ドライバの脳の活動に着目することによって状態変化を推定する研究が行われており²⁻⁴⁾、その際にはドライバの運転行動を阻害せず、違和感を与えることなく計測することが求められる。

2. NIRSによる脳活動計測

近赤外分光装置は「生体の窓」と呼ばれる生体透過性が高い近赤外領域の光 (700-900nm) を用いてヘモグロビンの濃度変化を計測する手法である。神経活動が生じた際に局所的に血流量が増加し血中のヘモグロビン濃度が変化する。また近赤外光の透過光、拡散光の減衰量から酸素化ヘモグロビン(oxy-Hb)、脱酸素化ヘモグロビン(deoxy-Hb)の濃度変化を計測する

ことが可能である。oxy-Hb, deoxy-Hbそれぞれ吸光スペクトルが異なることから、透過光量に基づきそれぞれのヘモグロビンの濃度変化を求めることができる。

脳活動計測においては、頭表に配置した送光ファイバから近赤外光を照射し、頭皮、頭蓋骨、髄液で吸収・拡散されながら脳表に達し、再び頭表まで戻ってきた透過光量が受光ファイバによって計測される。この透過光量に基づいて、脳表のヘモグロビンの濃度変化を算出することができる。脳活動による局所的な脳内酸素消費は5%程度であるのに対し、それに伴って供給される局所脳内血流の増加は30から50%となり、消費に対して大きく上回る。

そのため、神経活動に伴い活動神経近傍の領域ではoxy-Hbが増加することが知られており、oxy-Hbの変化量に注目することにより、脳の活動状態を知ることが可能である。NIRSにおいては、oxy-Hbが脳の賦活を最も反映するパラメータであるとされている。本研究においてもoxy-Hbの変化量を主たる評価基準として脳活動の分析を行う。

3. ドライビングシミュレータを用いたドライバの脳機能計測と評価

3.1 実験方法

実車を使用した走行環境においては、多くの制約条件があるため実験統制が困難であった。そこで、実験統制が容易なドライビングシミュレータを用いて、手動運転時と自動運転時の脳活動の違いについて検証を行った。インフォームドコンセントを得た運転免許を所持している成人男性8名を対象にドライビングシミュレータを用いた脳機能計測実験を行った。

走行コースは、横 6500m、縦 3250m、カーブ曲率 1300m、4車線 (片側2車線) の8字コースを用いた。手動運転条件では、100km/h で第一通行帯を走行する先行車に、一定の車間距離で追従走行するように指示した。自動運転条件では、運転操作を行わず、前方注視のみを行わせた。

A study on measurement of driver's brain function using wearable NIRS

Yuki AIZAWA and Hitoshi TSUNASHIMA

3.2 NIRSデータの取得

ウェアラブルNIRS装置 (Hb-131S: Astem) を用いて、ドライビングシミュレータ運転時の脳活動計測を行った。使用したウェアラブルNIRS装置と計測部位及び計測チャンネルを図1に示す。計測部位は前頭前野で、装着者正面を基準とすると、左から1, 2, 4, 3順にチャンネルが設定されている。また、サンプリング周波数2Hzで計測した。計測したデータに対して、離散ウェーブレット変換を用いた多重解像度解析^{5,6)}を行い、60秒の時間以下の周期成分を除去し、信号を再構成した。

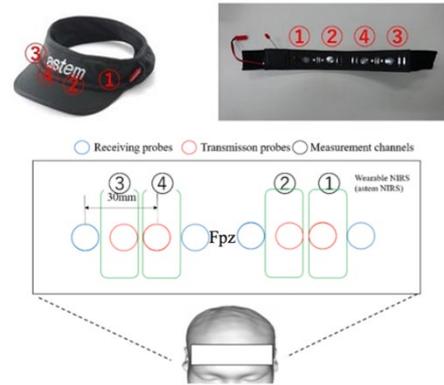


図1 計測部位とチャンネル番号(Hb131-S)

3.3 計測したNIRS信号の評価

実験参加者Cにおける自動運転時と手動運転時のoxy-Hbの変化の比較を図2に示す。自動運転では、時間経過とともにoxy-Hbが減少し、覚醒度も低下することがわかる。一方、手動運転では上記の傾向がみられず、脳の賦活に変化が少なく覚醒度の低下も少ないと考えられる。

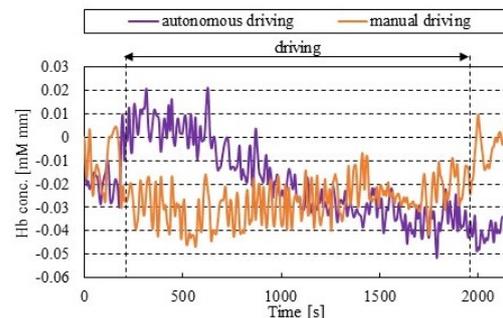


図2 自動、手動運転時のoxy-Hbの比較 (実験参加者C, ch1)

脳活動の計測結果から覚醒度を定量的に評価するために、oxy-Hbを横軸、oxy-Hbの微分値を縦軸とした1分ごとの平均値による位相平面を作成した。oxy-Hbが高い値かoxy-Hbの上昇の傾きが急峻であるときに脳が賦活していると考えられる。実験参加者Cの自動運転時と手動運転時の位相平面を図3、図4に示す。

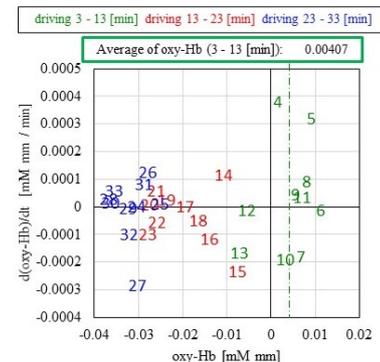


図3 自動運転時の位相平面 (実験参加者C, ch1)

運転時間を10分ごとに分類し、緑、赤、青の順に色分けをした。図3より自動運転では、時間経過とともにoxy-Hbとoxy-Hbの微分値が減少し、位相平面の左側に移動する傾向を確認した。よって運転時間が経過するにしたがって、脳の賦活が減少し覚醒度が低下したと考えられる。一方、図4の手動運転では上記の傾向がみられず、脳の賦活に変化が少なく覚醒度の低下も少ないと考えられる。

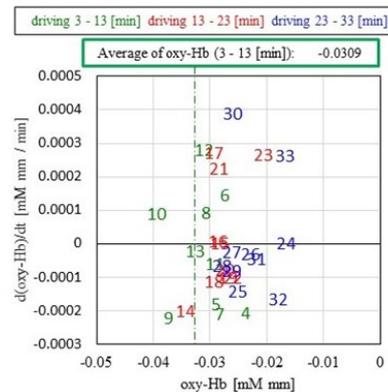


図4 手動運転時の位相平面 (実験参加者C, ch1)

さらに、図3、図4より、マハラノビス距離を算出した。マハラノビス距離とは分散を考慮した距離であり、データの異常検知に用いられている。実験参加者Cの自動運転時と手動運転時のマハラノビス距離を図5に示す。なお、基準データ群は運転による覚醒度低下が少ないと考えられる運転時間の最初の10分間とした。自動運転では時間経過でマハラノビス距離が増加する傾向を確認した。一方、手動運転では時間経過でマハラノビス距離は減少し、位相平面の右側に移動する傾向が見られる。このことから運転中の覚醒度を位相平面上のマハラノビス距離を用いることにより、定量的に評価できる可能性を示した。

3.5 顔表情評価による覚醒度の評価

ドライバの上半身の状態を、ビデオカメラを用いて動画に記録し、覚醒度の評価を行った。評価方法は北島らの考案した評価方法を用いた⁷⁾。北島らの考案した覚醒度評価方法について表1に示す。評価者2名で5秒毎に映像記録からレベル1からレベル5まで評価、その後、全評価者の平均を算出、さらに60秒毎の平均値を算出し顔表情評価値とした。

合計8名分の顔表情の覚醒度評価を平均値と標準偏差を図6に示す。図6より、自動運転では時間経過で眠気レベルが上昇している様子を確認した。標準偏差は実験時間全体で同等の値で実験参加者の個人差が終始表れているといえる。よって、時間経過で覚醒度が減少するといえる。一方、図7より手動運転では眠気レベルの変化が少ないことがわかった。

4. 高速バス運転中のドライバの脳機能計測と評価

4.1 実験概要

提案した覚醒度評価指標は、特に、長時間運転を行うバス運転士の覚醒度をモニタリングする方法としても有効である。そこで、高速バス運行会社と共同で、高速バスを運転中のドライバの脳機能計測実験を実施した。

実験参加者は、インフォームドコンセントを行った普通自動車免許と大型自動車第二種免許を所有する健康な男性3名（54歳，59歳，62歳）とした。ここでは、実験参加者H（54歳）についての評価を示す。

4.2 計測結果（実験参加者H）

図8に計測したNIRS信号を示す。oxy-HbとSt O₂が相関良く記録されていることから、計測は良好に行われたものと考えられる。次に、実験参加者Hの位相平面を図9に示す。解析時間を15分ごとに分類し、緑、赤、青の順に色分けをした。図9より、緑、赤、青と左に移動している様子が確認できる。これらのことから、覚醒度が時間経過とともに減少したものと考えられる。図10にマハラノビス距離による覚醒度指標の変化を示す。全体的には、運転時間が長くなるにつれて、覚醒度が低下する傾向が見られることがわかる。さらに、図11に実験参加者Hの顔表情の覚醒度評価を示す。図11より、顔表情からは明確な覚醒度低下は見られないことが分かった。

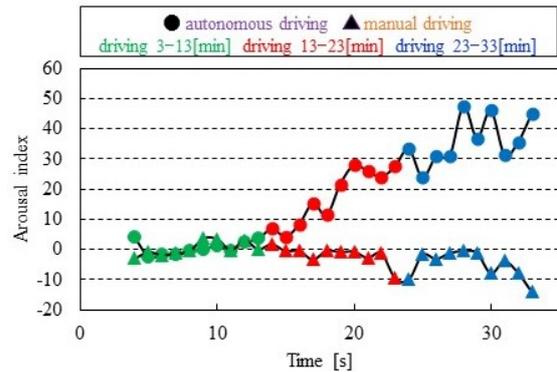


図5 マハラノビス距離による覚醒度評価 (実験参加者C, ch1)

表1 眠気表情評価表

レベル	ドライバの状態
1	視線の動きが頻繁、瞬きが2秒に一回
2	唇が開いている、視線の動きが遅い
3	瞬きはゆっくりと頻発、座り直しや口の動きがある
4	あくびが頻発し深呼吸が見られる
5	険を閉じる、頭が前後に動く

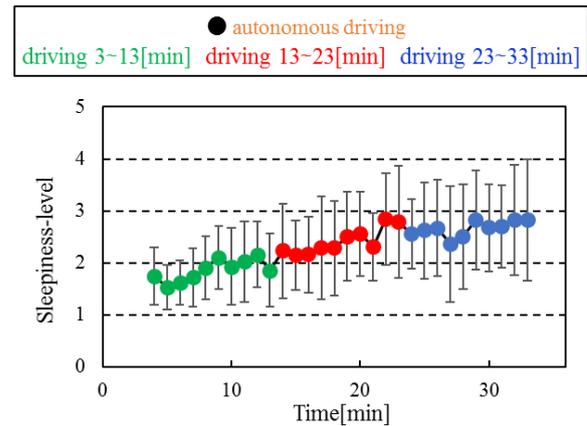


図6 自動運転時の顔表情評価 (実験参加者8名の平均と標準偏差)

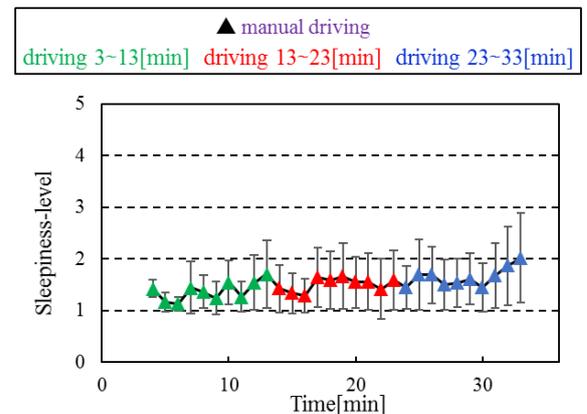


図7 手動運転時の顔表情評価 (実験参加者8名の平均と標準偏差)

5. 結言

本研究では、ウェアラブル NIRS 計測装置を用い、運転中のドライバの覚醒度を定量的に評価する方法を提案した。NIRS信号から構成される位相平面上のマハラノビス距離を用いて、リアルタイムに評価できる方法を提案し、その有効性をドライビングシミュレータおよび実車両を用いた実験により、検証を行なった。その結果、ドライバの覚醒状態を脳活動から推定できる可能性を示した。特に、自動運転走行時は、手動運転走行時より覚醒度低下が早く、前頭前野全体の活動低下も早いことも明らかになった。

参考文献

- 1) 小国土交通省自動車局, 自動運転車の安全技術ガイドライン(2018-9)
- 2) 黒木康之, 北川守, 麻生勤, 運転中の視覚性脳誘発電位および脳波よりみた心身反応, 人間工学, Vol.10, No.3 (1974), pp.81-91.
- 3) 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: 機能的近赤外分光装置 (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.40-3, pp.681-686 (2009).
- 4) 李曙光, 杉町敏之, 中野公彦, 田淵義彦, 須田義大, 高橋秀喜, 折野好倫, 山本浩司, 吉野加容子, 岡徳之, 加藤俊徳, fNIRS を用いた実車とドライビングシミュレータ運転時のドライバの脳活動と走行データの比較, 生産研究, Vol.67, No.2(2015), pp.161-166.
- 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, ヒューマンインターフェース学会誌, Vol11, No.2 (2009), pp.183-192
- 6) 酒谷薫 (監修), NIRS-基礎と臨床, 新興医学出版社 (2012)
- 7) 北島洋樹, 沼田仲穂, 山本恵一, 五井美博, 自動車運転時の眠気予測手法についての研究, 第 1 報 眠気表情の評価法と眠気変動の予測に有効な指標について, 日本機械学会論文集 (C 編), Vol. 63, No. 613 (1997), pp.3059-3066.

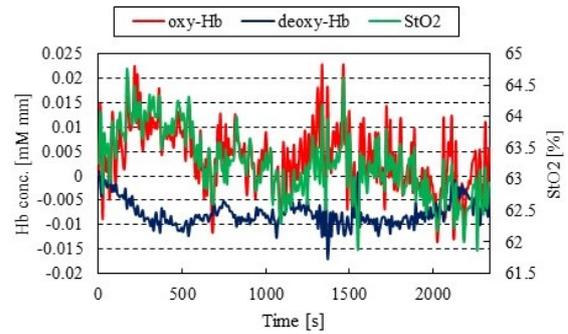


図8 oxy-Hb信号(実験参加者H, ch2)

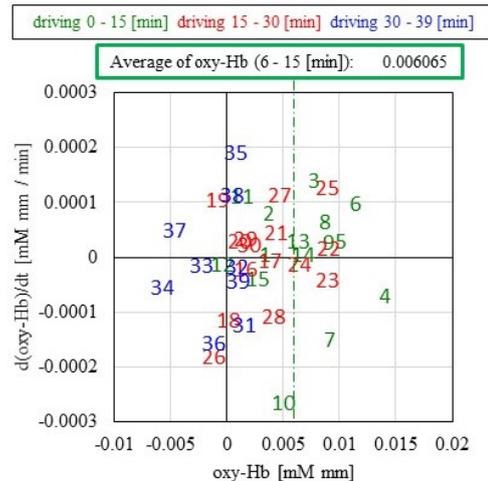


図9 位相平面(実験参加者H, ch2)

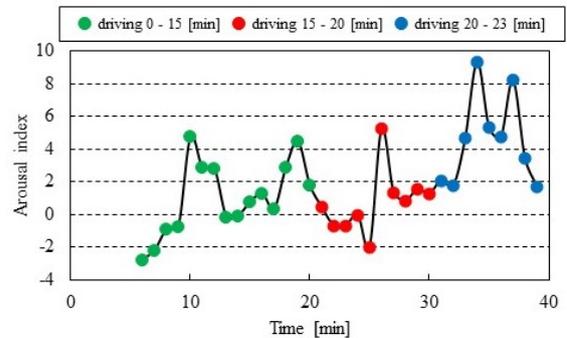


図10 マハラノビス距離による覚醒度評価 (実験参加者H, ch2)

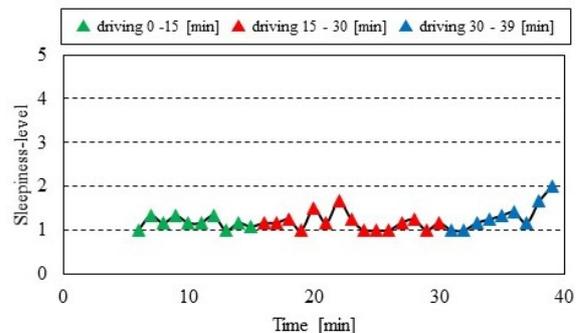


図11 顔表情評価(実験参加者H)