第Ⅳ部門　　近赤外分光法を用いた脳血流動態測定によるドライバーの精神的負荷に関する研究

京都大学工学部　学生員　○植田　拓郎　　京都大学大学院工学研究科　フェロー　谷口　栄一
京都大学大学院工学研究科　正会員　山田　忠史　　京都大学大学院工学研究科　正会員　中村　有克

１．研究の背景と目的

交通安全のための１つの方法として，運転時のドライバーへの精神的負荷軽減が考えられる．精神的負荷を与えにくい道路整備が重要であるといえる．しかし，精神的負荷の評価は主に主観的なアンケートによるものであり，評価として十分ではない可能性がある．そこで，客観的かつ定量的な評価方法として人間の生理指標を用いた方法が試みられている[1)]．本研究では人間の生理指標の測定方法として近赤外分光法(Near Infrared Spectroscopy)を使用し，精神的負荷の評価が可能であるかの検証を行う．

２．実験方法

本研究では脳血流動態測定により脳の賦活を間接的に測定する．非侵襲的測定法である NIRS による測定では，頭表に送光プローブを取り付け，近赤外光を照射し，脳表を通過して減衰した近赤外光を頭表に設置した受光プローブで測定する．近赤外光が減衰するのは血液中のヘモグロビンによって吸収されるからであり，この近赤外光の減衰が大きいほど，ヘモグロビン濃度が大きいと言える．測定機器には FOIRE-3000 を使用した．測定箇所は 48 か所であり，図 1 に脳表でのプローブの位置推定箇所を示す．送光プローブと受光プローブは交互に設置されており，それらの間が測定箇所である．今回は脳血流量を表しているとされる酸素化ヘモグロビン(oxy-Hb)を解析の対象とした．測定によって得るデータは，modified-Lambert-Beer 則により，単位が酸素化ヘモグロビン濃度と，近赤外光が通過した距離である光路長の積（mmol/l*cm）であり，測定開始時からの oxy-Hb 濃度長変化量である．

また，走行環境を同じものにするために，交通条件をコントロールすることが可能なドライビングシミュレータを使用した．走行コースは 2 車線から 1 車線に減少し，左車線から右車線へと合流する車線減少部とする．スタート地点から車線減少が始まる地点の間に

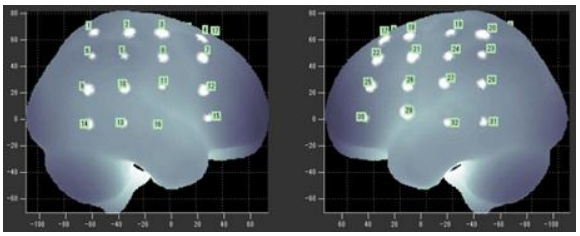

図１　推定されるプローブ位置

1000m の直線区間を設け，道路が 1 車線となる地点から測定終了地点までに 500m の直線区間を設けた．この車線減少部において，車線変更を始めるよう指示する地点と，道路が 1 車線となる地点の間の距離を 100m，300m，500m の 3 パターン用意し，実験を行った．被験者には 60km/h で走行するよう指示し，右側車線のみに交通量を 500 台/h で発生させ，50km/h で走行させた．

被験者は 22 歳から 25 歳の健康な男性 6 名であり，全員普通自動車免許を取得していた．1 人につき同じ実験を 2 回行った．いずれも実験前に被験者に対して実験目的，測定方法，身体への影響等について十分な説明を行い，研究協力への同意を得た．

また，NIRS による測定によって得たデータとの比較として，作業負荷の主観的評価方法である NASA-TLX によるアンケートを行った．NASA-TLX 得点の算出には三宅[2)]らによる AWWL(adaptive weighted workload)得点を使用した．

３．実験データの解析方法と結果

NIRS による測定によって得たデータには，心拍や呼吸によるノイズが含まれており，脳血流動態を知るためにはこれらのノイズを取り除く必要がある．本研究ではウェーブレット変換の多重解像度解析によってノイズを取り除き解析を行った．NIRS による測定によって得られたデータから多重解像度解析によってノイズを取り除いたものの一例を図 2 に示す．グラフにおける縦線は車線変更を始めるよう指示した地点を通過した時間を表す．図 2 より，車線変更地点の通過時にお

Takuro UETA, Eiichi TANIGUCHI, Tadashi YAMADA, Yuki NAKAMURA, tttakuro@kiban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

いて，脳血流量が増加している箇所がある，つまり脳が賦活している箇所があることが確認された．

次に，車線減少部の長さによる違いを調べるために，実験結果を定量的に評価することを考える．NIRS によって得たデータの単位は(mmol/l*cm)という，濃度と光路長の積となっている．光路長とは NIRS 測定に用いる近赤外光が通過したとされる距離であり，生体内である光路長を正確に計測することはできない．また，同じ被験者であっても測定箇所が違えば，光路長は異なる値となり，直接比較することはできない．異なる被験者，測定箇所間の比較は，光路長の影響を排除する必要がある．そこで本研究では，車線減少部を走行している時の oxy-Hb 濃度長の平均値を，直線道路を走行している時の平均値で割って，無次元化した oxy-Hb 濃度長比率を定義し，これを用いる．この方法には，NIRS による測定データが安静時という，個人毎に異なる状態を基準にしているのに対し，直線道路走行中との比較によって，条件を揃えることができるという利点もある．

この oxy-Hb 濃度長比率の値を車線減少部の長さごとに検討する．車線減少部の長さに影響を受けると予想される，視覚による注意に関係のある上側頭溝周辺や，視覚情報の処理に関係のある 46 野に着目すると，図 3 に示す様に車線減少部の長さが短くなると oxy-Hb 濃度長比率の値が大きくなり，それらの部位がより賦活していると考えられる．48 か所全ての測定箇所を対象とした場合も同様であった．その一方で，車線減少部の長さの影響を受けにくいと考えられる，体性感覚に関係のある後頭頂葉皮質に着目すると，図 4 に示す様に oxy-Hb 濃度長比率の値に大きな差は見られなかった．これらの結果より，車線減少部の短さに応じて脳が賦活する部位とそうでない部位があることがわかった．様々な走行時の脳血流動態を測定することで，運転と脳の活動の関係性，ひいてはドライバーが感じている精神的負荷を分析できる可能性があると考えられる．

また，NASA-TLX 得点の，車線減少部の長さによる違いは，車線減少部の長さが短くなるほど得点が大きくなり，主観的作業負荷が大きくなる傾向が見られた．脳の賦活と主観的作業負荷が車線減少部の長さに対して同じ傾向を示したことは，脳の賦活と作業負荷に関係がある可能性があると考えられる．

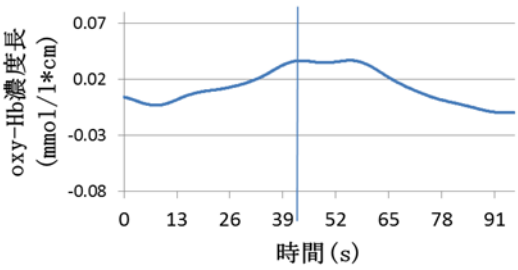

図 2　oxy-Hb 濃度長の挙動の一例

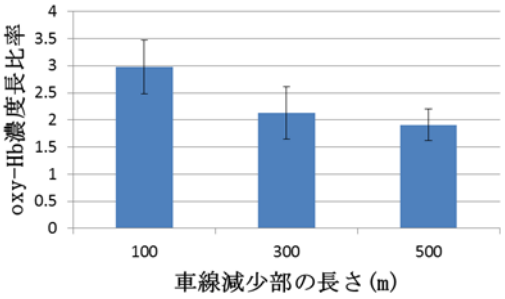

図 3　上側頭溝周辺の oxy-Hb 濃度長比率の比較

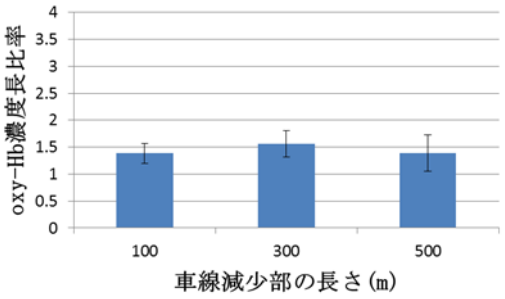

図 4　後頭頂葉皮質の oxy-Hb 濃度長比率の比較

4．結論

本研究では NIRS を用いて，運転中のドライバーの脳の賦活を間接的に測定した．直線道路走行時との比較である oxy-Hb 濃度長比率を定義し，ドライバーの運転による精神的負荷を評価できる可能性があることを示した．今後の課題として，他の生理指標との比較等によって，脳の賦活と精神的負荷の関係について詳しく分析していく必要がある．

参考文献

1)谷口栄一，丸山篤司，山田忠史，安東直紀：近赤外分光法を用いた脳血流動態測定による都市内道路の走りやすさ評価に関する研究，第 30 回交通工学研究発表会論文集，pp277~280,2010.

2) 三宅晋司，神代雅晴：メンタルワークロードの主観的評価方法-NASA-TLX と SWAT の紹介及び簡便法の提案，人間工学，29(6)，pp399~408,1993.