

第IV部門

近赤外分光法を用いた脳血流動態の測定と経路の走りやすさ評価

京都大学工学部 学生員 ○丸山 篤司
 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 安東 直紀

1. はじめに

近年の脳診断技術の向上に伴い、人間の主観評価の客観的な分析が行われている。本研究では、近赤外分光法(Near Infrared Spectroscopy: NIRS¹⁾)を用いて、思考や判断を司るとされている前頭前野の血流動態を測定する。前頭前野の血流動態の解釈については、現在も確立されているとは言いがたいが、血流が増加するときは脳に負担がかかっており、減少するときはリラックス状態にあるという見解が多く見られる。本研究においては、走行中のドライバーの脳血流動態を測定し、経路の走りやすさについて検討する。

2. 近赤外分光法(NIRS)

NIRS では、Modified Lambert Beer 則に基づき、式(1)~(3)を用いて oxy-Hb, deoxy-Hb のモル濃度変化を測定する。

$$A = (\epsilon_{oxy} C_{oxy} + \epsilon_{deoxy} C_{deoxy})L + B = -\ln(I_r / I_0) \quad (1)$$

$$L \cdot \Delta C_{oxy} = \frac{\epsilon_{deoxy}(\lambda_1)\Delta A(\lambda_2) - \epsilon_{deoxy}(\lambda_2)\Delta A(\lambda_1)}{\epsilon_{deoxy}(\lambda_1)\epsilon_{oxy}(\lambda_2) - \epsilon_{deoxy}(\lambda_2)\epsilon_{oxy}(\lambda_1)} \quad (2)$$

$$L \cdot \Delta C_{deoxy} = \frac{\epsilon_{oxy}(\lambda_2)\Delta A(\lambda_1) - \epsilon_{oxy}(\lambda_1)\Delta A(\lambda_2)}{\epsilon_{deoxy}(\lambda_1)\epsilon_{oxy}(\lambda_2) - \epsilon_{deoxy}(\lambda_2)\epsilon_{oxy}(\lambda_1)} \quad (3)$$

ここで、A は吸光度、 ϵ [mm⁻¹mM⁻¹]はモル吸光係数、C[mM]はモル濃度、L[mm]は実効光路長、B は散乱により検出器で検出されなかった光の損失、I₀, I_r[W/m²]は入射光および検出光の強度である。本実験においては光路長Lを24cmと仮定している。

3. 実験概要

被験者は、京都市内に設定した経路12~経路67を走行する。額に赤外線照射、検出プローブを装着し、走行中のドライバーの前頭前野における血流動態を測定する。測定には NIRO-200(浜松ホトニクス)を用いる。各経路の情報を表1に示す。表中の走りやすさは

国土交通省の走りやすさマップに基づく。また GPS を用いて、車両の位置と速度を記録する。被験者の情報を表2に示す。

表1 経路の情報

経路	通り	道路幅員(m)	車線数	交通量(台/h)	走りやすさ
経路12	御池	35	片側3車線	1208台	A
経路23	富の小路	4	1車線	データなし	D
経路34	五条	38	片側4車線	1310台	A
経路45	川端	15	片側2車線	1203台	B
経路56	四條	13	片側2車線	567台	B
経路67	堀川	46	片側4車線	2000台	A

表2 被験者の年齢、運転歴、運転時間

被験者	年齢	運転歴(年)	運転時間(h/週)
1	24	3	0
2	39	19	1
3	26	5	0
4	23	4	0
5	23	3	0
6	56	31	1
7	23	1	0
8	22	3	6

4. 実験結果および考察

実験開始から終了までの全被験者の oxy-Hb 濃度変化の平均値と分散値を、グラフにして図1に示す。被験者2, 6, 8は平均値が負の値をとり、分散値も小さい。次に、被験者2の走行速度と oxy-Hb 濃度変化を図2に示す。被験者は日常的に運転を行っており、実験中もリラックスしていたことがわかる。複雑な認知活動においても、熟練者は oxy-Hb 濃度が低下する傾向が見られている²⁾。次に、被験者1, 3, 8では、信号での停止時に oxy-Hb 濃度が上昇し、発信時に減少する傾向が見られた。被験者の走行速度と oxy-Hb 濃度変化を図3に示す。矢印で示した期間において車両が停止している。この結果は、信号で停止を余儀なくされ苛立ち、走行を始めるとその苛立ちが解消されて、再び運転に集中していると考えられる。ただし、すべての信号においてこの傾向が見られたわけではない。これには、経路の走行順序も関連していると思われる。経路ごとの oxy-Hb 濃度変化分散値の平均を示したも

のが図4である。経路12, 経路45, 経路67では, 全被験者の oxy-Hb 分散値が低い。各経路の平均走行速度とその経路の oxy-Hb 濃度変化の分散値を示す図5から, 平均走行速度が高い経路では分散値が小さく, 分散値が大きい経路は平均走行速度が低いことがわかる。平均走行速度が高く分散も高い経路は全く見られなかった。経路ごとの平均走行速度と, oxy-Hb 分散値を示した図6から, 経路の性質を3つに分類することができる。経路タイプ A は, 平均走行速度が高いことから, 走行に要する時間が小さく, 分散値が小さいことから, 快適な走行ができる経路といえる。経路タイプ B は, 平均速度が低いことから, 停車や減速をする機会が多く, 走行に要する時間が大きく, 分散値が大きいことから, 走行にストレスを感じている経路といえる。経路タイプ C は, そのどちらでもない経路に該当する。

5. まとめ

今回の実験では, ドライバーの運転頻度が oxy-Hb 濃度に関係する可能性が示唆された。これは NIRS を用いて被験者の運転特性を表すことができる可能性を示している。また, NIRS による経路評価の結果は, 経路の走りやすさを客観的に評価できる可能性を示している。今後はさらなる実験を行い, 本実験から得られた結果の妥当性をより精緻に検討するとともに, よ

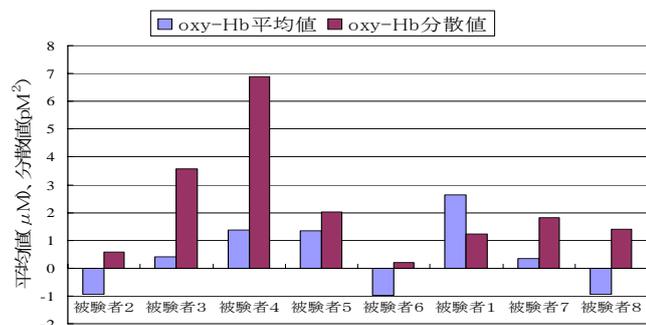


図1 oxy-Hb 平均値と分散値

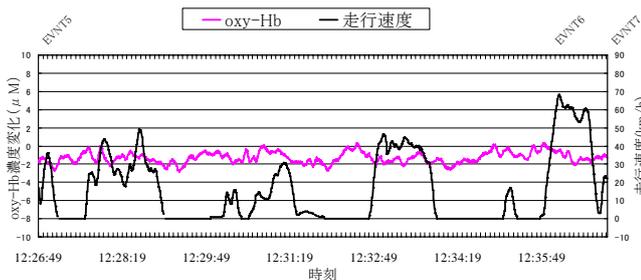


図2 oxy-Hb 濃度変化 (被験者2)

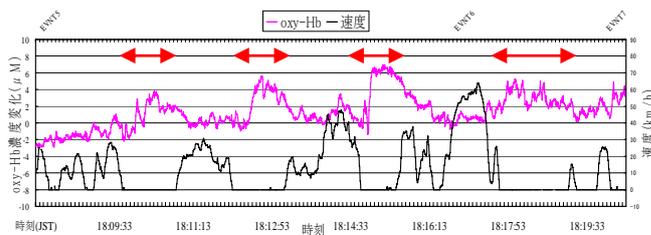


図3 oxy-Hb 濃度変化 (被験者3)

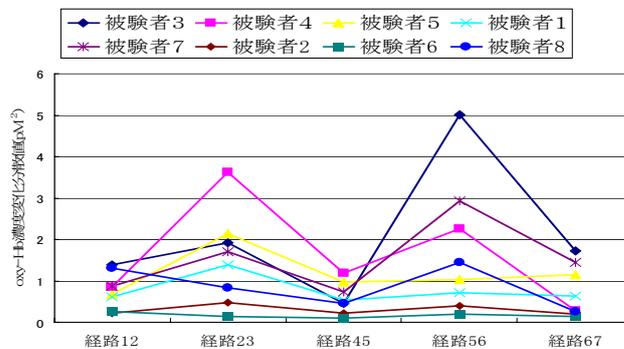


図4 oxy-Hb 濃度変化分散値

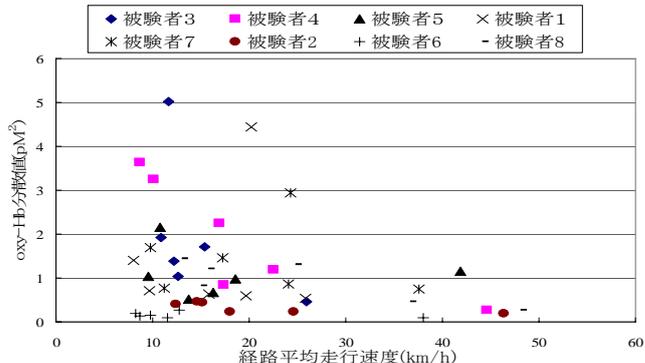


図5 経路平均走行速度と oxy-Hb 分散値の関係

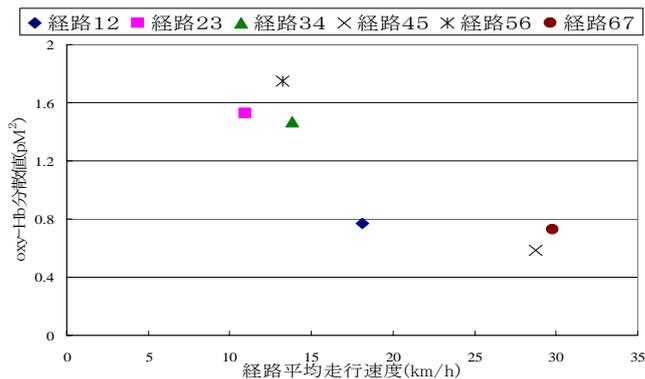


図6 経路平均走行速度と oxy-Hb 分散値の関係
 り多面的な経路評価にも取り組む予定である
 参考文献: 1) Hoshi Y, Tamura M: Detection of dynamic changes in cerebral oxygenation coupled to neuronal function during mental work in man., Neurosci Lett, 1993, 150: 5-8
 2) 松田剛: テレビゲームを題材とした脳機能計測, 第8回日本光脳機能イメージング研究会, p.13, 2007.