

NIRS を用いた視覚刺激呈示時の脳活動の特徴評価手法の提案

村下 直樹^{*1} 柳澤 一機^{*2} 綱島 均^{*2} 石田 健二^{*3}

Proposal of Characterization Method of Brain Activity of Visual Stimuli using NIRS

Naoki Murashita^{*1}, Kazuki Yanagisawa^{*2}, Hitoshi Tsunashima^{*2} and Kenji Ishida^{*3}

Abstract – Detection and isolation of human emotion from brain activities has been attracted in various research fields such as neuromarketing. A relation between a level of brain activity and pleasant and unpleasant emotions has been studied using Near-infrared Spectroscopy (NIRS). In this study, we propose the quantitative evaluation method of feature change of NIRS signal for pleasant and unpleasant emotions and evaluated effectiveness of evaluation method. Effect of the pleasant and unpleasant emotions using "separability" index obtained from feature plane of oxygenated hemoglobin and its differential value. Results showed that the difference of the Characterization was appeared to the brain activity of pleasant and unpleasant emotions. This result showed that the proposed index would be for evaluation of pleasant and unpleasant emotions.

Keywords : NIRS(Near Infrared Spectroscopy), IAPS(International Affective Picture System), Brain Activity, Human Emotion

1. 緒論

使用者の脳活動を非侵襲で画像化できる脳機能計測装置の発展により、脳機能計測に関する研究が盛んに行われている。そのなかでも、人間の無意識下の行動の仕組み、深層心理などを評価することで消費者の嗜好性を解明し、マーケティングに応用するニューロマーケティングに関する研究が注目されている。

ニューロマーケティングに関する先行研究として、McClure らは、機能的磁気共鳴画像 (functional Magnetic Resonance Imaging : fMRI) を用いて、コカコーラとペプシのブランドイメージが行動や神経活動にどのように影響するかについて検討を行い、嗜好に基づく判断は前頭葉で行われていることを指摘した^[1]。

非侵襲的な脳機能計測法として、fMRI や近赤外分光法 (Near Infrared Spectroscopy : NIRS) が挙げられる。しかし、fMRI は装置の構造上、計測中に身体を動かすことができず、計測環境や視覚刺激の呈示方法に制限が多いため、情動の評価への応用には限界がある。一方、NIRS は近赤外光を用いて酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) と脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb) の変化量を計測する装置であり、体動の制限が少なく、自然な状態で実験を行うことができるため、情動の評価への応用を検討する上で、望ましい手法である。

NIRS を用いた情動の評価を検討した先行研究として、誘発する情動がある程度定量化された刺激として国際感情画像システム (International Affective Picture System : IAPS) を用いた研究が挙げられる^[2]。その結果、実験参加者によって活動部位が異なる結果が確認され、特に IAPS の快画像では快情動が十分に喚起できない場合があることを示唆している。

そこで本研究では、刺激課題の種類や強度による脳活動の特徴の違いについて検討を行う。意図した快情動の喚起を行うため、実験参加者自身が快だと感じる画像を選定してもらい、不快課題については IAPS から選定し、実験参加者に呈示した時の脳活動を NIRS を用いて計測を行う。計測された NIRS 信号の特徴を定量的に評価する指標として、設定した課題時の oxy-Hb とその微分値から作成した位相平面を用いて、快・不快情動喚起時の脳活動の特徴を評価する評価手法の検討を行う。

2. NIRS による情動の評価

2.1 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脳機能計測法である。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濃度が変化するため、生体への透過性が良好な波長の近赤外光を照射し、その透過光・拡散光から、oxy-Hb と deoxy-Hb の濃度変化を計測することが可能である。しかし、NIRS 信号は基準からの相対変化量であるため、定量的な評価を行うことが難しいという問題点が挙げられる。

*1: 日本大学大学院生産工学研究科

*2: 日本大学生産工学部

*3: 株式会社 デンソー

*1: Graduate School of Industrial Technology, Nihon University

*2: Nihon University, College of Industrial Technology

*3: DENSO CORPORATION

2.2 NIRS を用いた情動の先行研究

NIRS を用いた情動を評価する先行研究では、星ら [3] と山田ら [4] による快・不快画像を呈示したときの前頭葉の脳活動を計測した研究が挙げられる。どちらの研究においても、快情動や不快情動に関連した前頭前野の活動を報告しているが、実験によって活動部位やパターンが異なり、矛盾する結果も報告されている。これは刺激の種類や呈示方法の違いによるものと考えられ、実験参加者によって誘発される情動が異なり信号の再現性が低い可能性があることから、快・不快情動を脳活動から評価を行う手法は確立されていない。

3. 視覚刺激を用いた情動評価実験

3.1 視覚刺激課題

喚起される情動が定量的かつ客観的な刺激課題として、Lang らによって IAPS が考案された [5]。IAPS は、安全かつ非侵襲的な方法で情動を喚起するため、多くのアンケート結果をもとに海外で作成されたカラー写真のセットである。すべての写真は、大規模な集団による評価により、快・不快度 (Valence) と覚醒度 (Arousal) という 2 つの指標で評価されている。

平野らはこの IAPS を用いて実験を行い、快・不快情動の識別の検討を行ったが、一部の実験参加者において信号の再現性に問題があったことや、快情動が十分に喚起できない場合があることを示唆している [2]。原因として、IAPS は定量的な情動喚起課題であるが、海外で作成されたため、特に快情動を喚起する画像については、覚醒度が高く爽快感を促す画像が多いことから、日本人に対して必ずしも快情動を喚起することができない可能性が指摘されている [6]。

そこで、本研究では快情動を喚起する刺激課題として、実験参加者が快だと感じる画像を選定し、1~5 段階で点数付けを行ってもらい、点数によって 3 段階に分類した。点数が高い画像群を快画像、点数が中間の画像群は使用せず、点数が低い画像群をやや快画像と設定した。また、不快情動を喚起する刺激課題として、IAPS の画像から覚醒度の値が Arousal Mean : 5.0~8.0 の範囲内で、Valence Mean : 1.0~2.0 の範囲内のものを不快画像、Valence Mean : 3.0~4.0 の範囲内のものをやや不快画像と設定した。

3.2 実験内容

実験デザインを図 1 に示す。実験デザインは、前レスト 10 秒、タスク 20 秒、後レスト 10 秒を 1 試行とした。タスクは実験参加者に選定してもらった画像を快、やや快タスクとし、IAPS から選定した不快画像を不快、やや不快タスクとし、レストは画面に呈示される十字記号を注視するように教示した。

1 タスクにつき 1 枚を 5 秒間として 4 枚呈示するよ

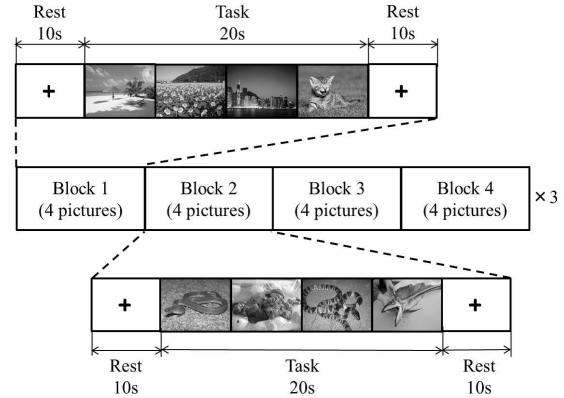


図 1 実験デザイン

Fig. 1 Experimental design

うに設定した。それらを 1 試行とし、12 試行繰り返した。これを 1 実験とし、実験参加者ごとに 2 回ずつ行った。視覚刺激のカテゴリーはランダムな順序に設定した。実験終了後に、呈示した刺激課題に関する主観評価として、アンケートを実施した。

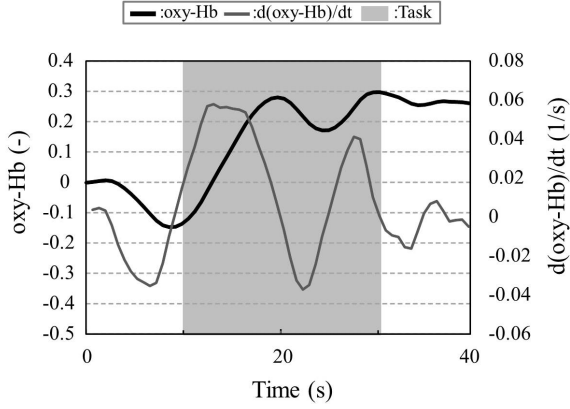
本研究では脳機能計測装置として、株式会社スペクトラテック製、近赤外光イメージング装置 OEG-16 を用いて、前頭前野の脳活動を全 16ch 計測した。実験は、人を対象とする研究倫理審査委員会 (日本大学生産工学部) の承認 (承認番号 : S2014-014) を得て行った。実験参加者は、事前に実験の趣旨説明と併せてインフォームドコンセントを得た 20 代男性 8 名とした。

4. 実験結果

4.1 NIRS 信号の評価

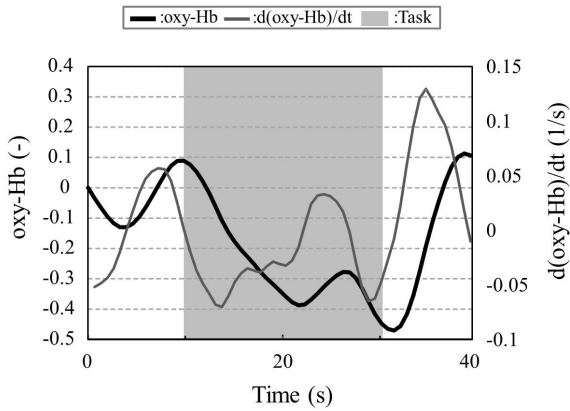
実験参加者 8 名中、アンケートによる主観評価から、こちらが意図した情動の喚起が行えていなかった 1 名を除外した 7 名の実験参加者を対象に解析を行った。NIRS 信号は離散ウェーブレット変換による多重解像度解析を用いてノイズを取り除き、標準得点化を行った [7]。そこから、実験参加者 7 名分、14 データの加算平均を求めた。その後、各タスクに分割し課題条件ごとに平均を求め、各条件ごとの傾向について前頭前野全体で検討を行った。実験参加者 7 名の、快タスクの加算平均の結果を図 2(a) に示す。同様に、不快タスクの加算平均の結果を図 2(b) に示す。図 2(a) より、快タスクにおいては画像呈示に関連して快タスク開始直後から oxy-Hb の値は上昇を示した。図 2(b) より、不快タスクにおいては画像呈示に関連して不快タスク開始直後で oxy-Hb の値は大きく減少を示した。

しかし、NIRS 信号は相対変化の値であることから、快・不快情動喚起時の脳活動の傾向を確認することは可能であっても、定量的な評価を行うことが困難である。よって快・不快情動喚起時の脳活動の特徴を評価するには、NIRS 信号を定量的に評価する必要がある。



(a) 快タスクの加算平均結果

(a) Averaged result in pleasant Task



(b) 不快タスクの加算平均結果

(b) Averaged result in unpleasant task

図2 快・不快タスクの加算平均結果

Fig.2 Averaged result in pleasant and unpleasant task

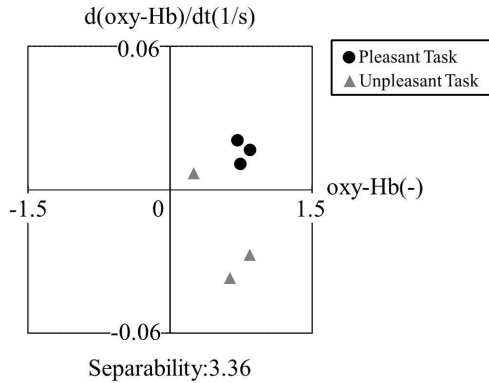


図3 位相平面による分離度 (快・不快タスク)

Fig.3 Separability by Feature plane of pleasant and unpleasant task

4.2 分離度による快・不快情動の評価

4.2.1 NIRS 信号の評価手法の提案

快・不快情動喚起時の脳活動の特徴について定量的な評価を行うため、本研究では分離度を用いて NIRS 信号の特徴の評価を行った。分離度とは、oxy-Hb とその微分値から作成された位相平面上の各タスクの平均点の分布から、脳活動の特徴を定量的に評価すること

ができる手法である [8]。分離度は、クラス内分散とクラス間分散の比で表される。まず、計測された oxy-Hb の値を p_{oxy} 、oxy-Hb の微分値を \dot{p}_{oxy} とする。これらを位相平面内の平均点 \mathbf{p} として表すと

$$\mathbf{p} = (p_{oxy}, \dot{p}_{oxy}) \quad (1)$$

となる。タスク A のグループに属する平均点の集合を X_A 、 X_A に含まれる平均点の数を n_A 、全タスク A の平均を \mathbf{m}_A 、タスク B のグループに属する平均点の集合を X_B 、 X_B に含まれる平均点の数を n_B 、全タスク B の平均を \mathbf{m}_B とする。また全平均点の数を n 、各タスクすべての平均を \mathbf{m} とする。クラス内分散を σ_W^2 、クラス間分散を σ_B^2 と表すと、

$$\sigma_W^2 = \frac{1}{n} \left\{ \sum_{\mathbf{p} \in X_A} (\mathbf{p} - \mathbf{m}_A)^T (\mathbf{p} - \mathbf{m}_A) + \sum_{\mathbf{p} \in X_B} (\mathbf{p} - \mathbf{m}_B)^T (\mathbf{p} - \mathbf{m}_B) \right\} \quad (2)$$

$$\sigma_B^2 = \frac{1}{n} \left\{ n_A (\mathbf{m}_A - \mathbf{m})^T (\mathbf{m}_A - \mathbf{m}) + n_B (\mathbf{m}_B - \mathbf{m})^T (\mathbf{m}_B - \mathbf{m}) \right\} \quad (3)$$

となる。分離度は式 (2)、式 (3) を用いて

$$J_\sigma = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_W^2} \quad (4)$$

と定義できる。式 (2) からクラス内分散は同じグループの平均点の分散を表し、式 (3) からクラス間分散はグループの重心の分散を表す。分離度は各タスクの平均点の分布が広く混在している場合は特徴が不明確となり低い値を示す。反対に、同じグループのタスクの平均点が隣接しており、各タスクの平均点が分離している場合は特徴が明確となり高い値を示す。

この分離度を用いて、快情動喚起時の脳活動と不快情動喚起時の脳活動の特徴の評価を行う。

4.2.2 分離度による評価結果

実験参加者 7 名分、14 データを加算平均した NIRS 信号より、分離度を用いて評価を行った 13ch の結果について、図 3 に示す。計測された oxy-Hb とその微分値から作成した位相平面において、快タスクの平均点が第 1 象限に、不快タスクの平均点が第 4 象限付近に集まっていることから、快・不快情動喚起時の脳活動に特徴の違いが確認されたため、分離度は 3.36 と高い値を示した。さらに、前頭前野全体で分離度による評価を行った結果の空間分布を図 4 に示す。図 4 より、前頭前野全体において分離度は高い値を示していることが確認できた。快情動喚起時の脳活動では、oxy-Hb の値とその微分値は上昇を示し、不快情動喚起時の脳活動では、oxy-Hb の微分値は減少を示したため、快・

不快情動喚起時の特徴の違いが明確に表れたことから、分離度は高い値を示したと考えられる。これらの結果から、分離度により快・不快情動喚起時の脳活動の特徴を定量的に評価することができる可能性を示した。

4.3 刺激課題の強度による影響

先行研究において、刺激課題の種類や強度によって脳の活動部位が異なるという報告がされているため[2]、本研究では、刺激課題の強度による脳活動の特徴の違いを検討するため、呈示する視覚刺激を快、不快ともに2段階に設定し、呈示時の脳活動の特徴について、分離度を用いて評価を行った。実験参加者7名分、14データを加算平均したNIRS信号より、快・やや快タスクの分離度の空間分布を図5左図に、不快・やや不快タスクの分離度の空間分布を図5右図に示す。図5左図より、快・やや快の分離度では全体的にほとんど変動がないことが確認できた。また、図5右図より、不快・やや不快の分離度では左外側部において値の上昇を確認することができた。

快・やや快条件において、実験終了後に実施したアンケートの結果から、快・やや快と設定した刺激課題の強度に特徴の違いがみられず、どちらも快であると感じた、と回答した実験参加者が多かったことから、条件による特徴が不明確となり分離度は低い値を示したと考えられる。また、不快・やや不快条件において、実験終了後に実施したアンケートの結果から、不快とやや不快と設定した刺激課題に対して不快の度合いに特徴の違いがあった、との回答が多かったことから、条件による特徴が明確となり、左外側部において分離度は高い値を示したと考えられる。

これらの結果から、刺激課題の強度による脳活動への影響について、分離度を用いて評価を行うことで、主観評価の結果と一致することを確認することができた。よって、分離度を用いることで、刺激課題の強度や妥当性を定量的に評価できる可能性を示した。

5. 結言

本研究では、NIRSによる脳機能計測から情動の評価が可能か検証を行うため、実験参加者に選定してもらった快画像とIAPSから選定した不快画像を用いて、実験参加者8名を対象に実験を行った。計測されたNIRS信号を定量的に評価する手法として分離度を提案し、快・不快情動喚起時の脳活動の特徴を定量的に評価できるか検証した。

その結果、前頭前野全体において分離度は高い値を示したことから、快・不快情動喚起時の脳活動の特徴を定量的に評価することができる可能性を示した。

また、刺激課題の強度による脳活動への影響について、分離度を用いることで刺激課題の強度や妥当性を

定量的に評価できる可能性を示した。

今後は実験参加者数を増やすことで統計的な評価を行い、提案した評価手法の有効性の検証を行う。

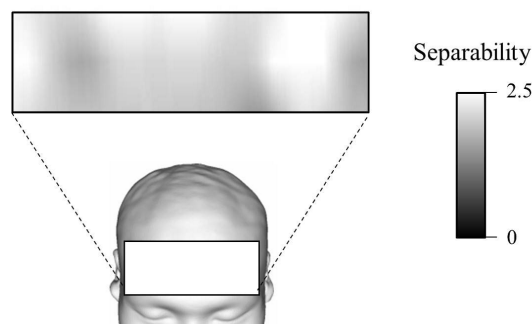


図4 分離度の空間分布 (快・不快タスク)

Fig.4 Space distribution by separability of pleasant and unpleasant task

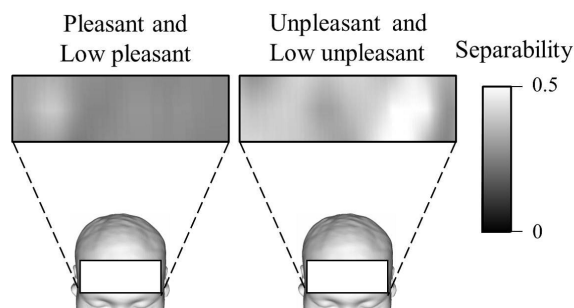


図5 分離度の空間分布

Fig.5 Space distribution by separability

参考文献

- [1] Samuel M. McClure, et. al: Neural Correlates of Behavioral Preference for Culturally Familiar Drinks; Neuron, Vol.44, pp.379-387 (2004).
- [2] 平野亮典, 山本修一, 柳澤一機, 綱島均: NIRSによる視覚刺激呈示時の快・不快情動の評価, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol.17, No.3, (2015).
- [3] Yoko Hoshi, et. al: Recognition of Human Emotions from Cerebral Blood Flow Changes in the Frontal Region: A Study with Event-Related Near-Infrared Spectroscopy, Journal of Neuroimaging, pp.94-101 (2011).
- [4] 山田クリス孝介, 野村忍: NIRSによる映像視聴時の前頭前野活動の評価, バイオフィードバック研究, Vol.37, No.2, pp.91-96 (2010).
- [5] Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. : International affective picture system (IAPS):Instruction manual and affective ratings. Technical report A-4, The center for research in psychophysiology, University of Florida (1999).
- [6] 柳澤一機, 綱島均: NIRSを用いた視覚刺激呈示時の快・不快情動の評価, 生体医工学第53巻特別号(第54回日本生体医工学会大会), pp.164 (2015).
- [7] 柳澤一機, 綱島均, 他: NIRSを用いた自動車運転時の脳機能計測(運転支援システムによるドライバの負担軽減の評価), ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol.14, No.2, pp.99-108 (2012).
- [8] 柳澤一機, 綱島均, 酒谷薫: 前頭前野を対象としたニューロフィードバックトレーニングにおけるNIRS信号の評価手法の提案, 人間工学会論文集, Vol.51, No.1, pp.42-51 (2015).