

## NIRS を用いた視覚刺激呈示時の脳活動の特徴評価

日大生産工(院) ○村下直樹 日大生産工 柳澤一機 綱島均

### 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伴い、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、正確に語ることでできない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、ココ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前で行われていることを指摘した<sup>1)</sup>。

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)等が挙げられる。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)の濃度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、脳活動計測によって人間の嗜好性を解明し、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を用いて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<sup>2)</sup>。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十分に行うため、実験参加者自身が好きだと感じる写真を実験参加者自身に選定してもらい、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前頭前野の脳活動を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信号は絶対値ではなく基準からの相対変化の値であるため、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。

#### 2.2 NIRSを用いた情動評価に関する先行研究

NIRSを用いた視覚刺激呈示時の情動を評価する先行研究として、星ら<sup>3)</sup>と山田ら<sup>4)</sup>による快・不快画像を呈示したときの前頭前野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活動パターンが異なり、矛盾する結果も報告されている。これは刺激の種類や課題の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下する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喚起実験

#### 3.1 視覚刺激課題

喚起される情動が客観的かつ定量的な刺激課題として、LangらによってIAPSが考案された<sup>5)</sup>。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。IAPSは全ての写真に快・不快度(Valence)と覚醒度(Arousal)という2つの指標が設けられている。Valenceは値が大きいほど快、小さいほど不快な写真であり、Arousalは値が大きいほど写真の印象が強いことを表している。

The Characterization of Brain Activity of Visual Stimuli Using NIRS

Naoki MURASHITA, Kazuki YANAGISAWA, and Hitoshi TSUNASHIMA

先行研究において平野らは、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<sup>2)</sup>。原因として IAPS は定量的な情動喚起課題であるが、欧米人を対象として作成されたため、特に快情動を喚起する画像については、覚醒度が高いアクティビティやマリンスポーツといった爽快感を促すものが多く、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<sup>6)</sup>。

そこで本研究では、呈示する画像の種類による影響を検討するため、快情動を喚起する刺激課題として、実験参加者自身が快だと感じる画像を選定し、その写真に対して1~5段階で点数付けを行ってもらい、点数の上位3分の1を快画像、点数の下位3分の1をやや快画像と設定し、点数が中間の画像を使用せず刺激の強度に差を設けた。また、不快情動を喚起する刺激課題として、IAPS から覚醒度の値が Arousal Mean: 4.0~8.0 の範囲で、快・不快度の値が Valence Mean : 1.0~2.0 の範囲を不快画像、Valence Mean : 3.0~4.0 の範囲をやや不快画像と設定した。

### 3.2 実験内容

実験ブロックデザインを図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。タスクの課題は、実験参加者に選定してもらった快画像を快、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。視覚刺激スライド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

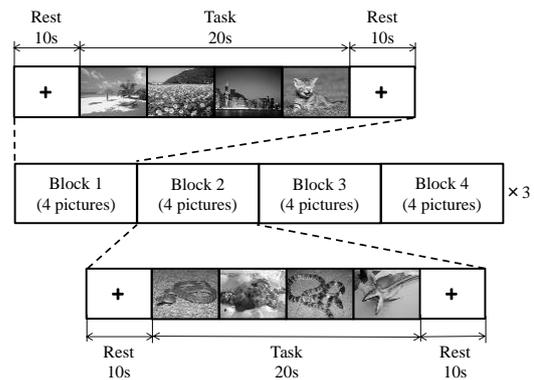


Fig.1 Experimental design

解析を行った。NIRS信号には課題に関連しない成分が含まれているため、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課題に関連した成分で再構成し、標準得点化を行った。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毎に平均を求め、各条件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名の全ての快タスク(快とやや快)の加算平均の結果を図2(a)に示す。同様に、不快タスク(不快とやや不快)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。

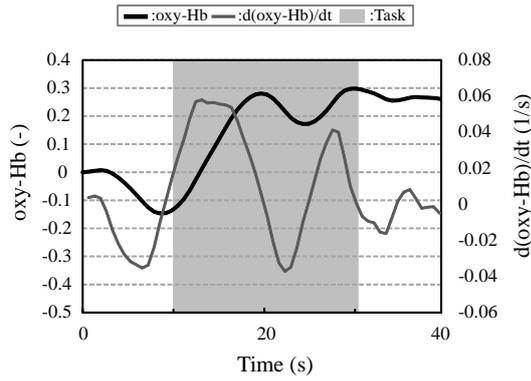
### 4.2 分離度による快・不快情動の評価

#### 4.2.1 NIRS信号の評価手法の提案

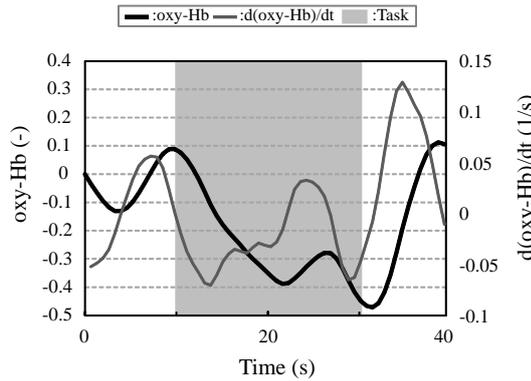
快・不快情動喚起時の脳活動の特徴について定量的な評価を行うため、本研究では分離度を用いてNIRS信号の特徴の評価を行った。分離度とは、oxy-Hbとその微分値から作成された位相平面上の各タスクの平均点の分布から、脳活動の特徴を定量的に評価することができる手法である<sup>8)</sup>。分離度は、クラス内分散とクラス間分散の比で表される。まず、計測されたoxy-Hbの値を $p_{oxy}$ 、oxy-Hbの微分値を $\dot{p}_{oxy}$ とする。これらを位相平面内の平均点 $p$ として表すと

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

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 $m_A$ 、タスクBのグループに属する平均



(a) Averaged result in pleasant task



(b) Averaged result in unpleasant task

Fig.2 Averaged result in pleasant and unpleasant task

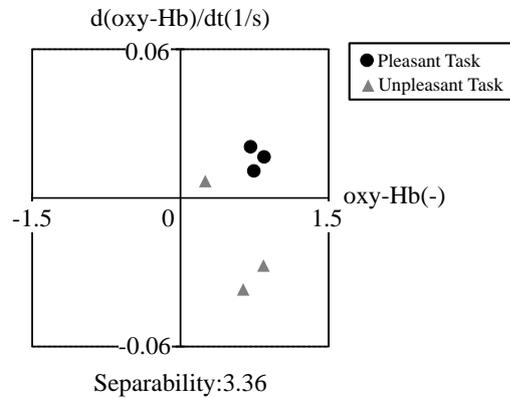


Fig.3 Separability by Feature plane of pleasant and unpleasant task

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 $m_B$ とする. また全平均点の数を $n$ , 各タスクすべての平均を $m$ とする. クラス内分散を $\sigma^2_W$ , クラス間分散を $\sigma^2_B$ と表すと,

$$\sigma^2_W = \frac{1}{n} \left\{ \sum_{p \in X_A} (p - m_A)^T (p - m_A) + \sum_{p \in X_B} (p - m_B)^T (p - m_B) \right\} \quad (2)$$

$$\sigma^2_B = \frac{1}{n} \{ n_A (m_A - m)^T (m_A - m) + n_B (m_B - m)^T (m_B - m) \} \quad (3)$$

となる. 分離度は式(2), 式(3)を用いて

$$J_\sigma = \frac{\sigma^2_W}{\sigma^2_B} \quad (4)$$

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, 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の違いについて, 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

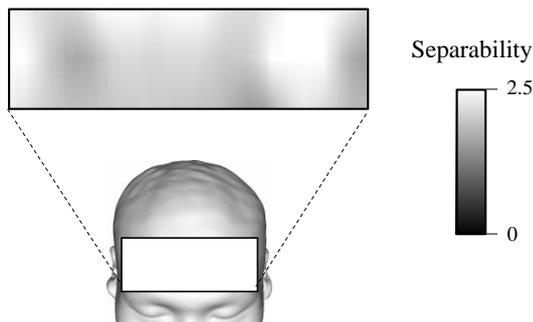


Fig.4 Space distribution by separability of pleasant and unpleasant task

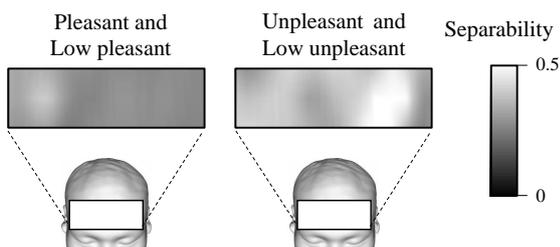


Fig.5 Space distribution by separability

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、快・やや快条件による特徴の違い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・やや不快と設定した刺激課題に対して不快と感じた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、条件による特徴の違いが明確となり、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し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。

## 「参考文献」

- 1) Samuel M. McClure, et.al, Neural Correlates of Behavioral Preference for Culturally Familiar Drinks, *Neuron*, Vol.44,(2004) pp.379-387
- 2) 平野亮典, 柳澤一機, 綱島均, ニューラルネットワークを用いた視覚刺激呈示時の快・不快情動の識別, ヒューマンインターフェースシンポジウム論文集, 2014, pp801-804.
- 3) Yoko Hoshi, Jinghua Huang, Shunji Kohri, Yoshinobu Iguchi, Masayuki Naya, Takahiro Okamoto, Shuji Ono, Recognition of Human Emotions from Cerebral Blood Flow Changes in the Frontal Region, A Study with Event-Related Near-Infrared Spectroscopy, *Journal of Neuroimaging*,2011,pp.94-101 .
- 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(2010), pp.91-96 .
- 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), 2015, pp.164.
- 7) 柳澤一機, 綱島均, 丸茂喜高, 伊藤誠, 稲垣敏, 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(2012), pp.99-108.
- 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(2015), pp.42-51.