

視覚刺激呈示時の快・不快情動と脳活動の関連性に関する研究

日大生産工(院) ○山本 修一 日大生産工 綱島 均
日大生産工 柳沢 一機

1 緒 言

実験参加者の脳活動を非侵襲で簡単に画像化できる計測装置の発展により、脳機能計測に関する研究がさまざまな分野で行われている。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、人間の嗜好性を解明し、マーケティングに応用するニューロマーケティングの研究が注目されている。

ニューロマーケティングとは、脳科学の立場から消費者の脳の反応を計測することで、消費者心理や行動の仕組みなどの正確に語るができない無意識下の決定プロセスを解明し、マーケティングに応用しようとする試みである^[1]。ニューロマーケティングの研究の一例として、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う影響するか検討し、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^[2]。

非侵襲的な脳活動の計測方法として脳波(Electroencephalogram : EEG), fMRI や近赤外分光法(Near-Infrared Spectroscopy : NIRS)などがある。EEG は、脳の活動がある部位では、ニューロンが電気信号を使って情報を伝達し合うため、各ニューロン付近の電磁場を計測し、どの程度脳が活動しているか知ることができる。しかし、EEG は、空間分解能が低く、体動にも弱い。fMRI は、脳内の酸素化ヘモグロビン(oxy-Hb)が脱酸素化ヘモグロビン(deoxy-Hb)に変化するときの磁気共鳴信号の増加を利用して、間接的に脳活動を測定する方法である。しかし、fMRI は装置の構造上、計測中に被験者は体を動かすことができず、測定環境や刺激提示方法などに制限が多い。一方のNIRSは、近赤外光を用いて、oxy-Hb と deoxy-Hb の変化量を測定する装置であり、体動の制限が少なく、被験者に対してより自然な状態で実験を行うことができるため、視覚刺激呈示時の脳機能の評価を行う上で望ましい方法である。

NIRS 計測を用いて、情動を客観的に評価する研究としては、浅野らによる、快・不快音を聴取した時の脳活

動を計測した研究がある^[3]。ここでは、前頭葉中央部で快条件、不快条件の両条件において oxy-Hb の減少する傾向することが報告されている。しかし、小栗らの不快音を聴取時の脳活動を計測した研究では、中央右部の oxy-Hb の上昇が確認できるという異なる結果が報告されている^[4]。これらの活動部位違いは課題の違いに依拠するものと考えられ、統制された課題を用いる必要がある。本研究では、統制された視覚刺激として国際感情画像システム(International Affective Picture System : IAPS)を用いる。

本研究では、NIRS を用いた脳機能計測から人間の情動を評価可能か検討し、ニューロマーケティングへの応用可能性を検討する。本検討では、IAPS から快および不快課題を選定し、実験参加者に呈示した時の脳活動を計測した。各視覚刺激課題に対して実験参加者の脳活動を比較し、脳活動による快・不快情動を評価できるかどうかの検証を行う。

2 実験方法

2.1 近赤外分光法(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の濃度が変化する。近赤外分光法は、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, deoxy-Hb の濃度変化を計測することが可能である。しかし、計測された値は、絶対量ではなく、相対量であることから、その扱いには注意しなければならない^[5]。

2.2 実験条件

視覚刺激呈示により、実験参加者の快情動時と不快情動時の脳活動を比較し、人間の情動を評価できるか検討するため、IAPS から選定を行った画像を視覚刺激として呈示し、NIRS による脳機能計測を行った。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 25 秒、タスク 25 秒、後レスト 25 秒を 1 試行とした。タスクの課題は、国際感情画像システム

Relation between pleasant/unpleasant emotions with visual stimulus
and the brain activity

Shuichi YAMAMOTO, Hitoshi TSUNASHIMA and Kazuki YANAGISAWA

(IAPS: International Affective Picture System)から快、不快画像を選出した。1タスクにつき1枚を5秒間として5枚呈示するように設定し、それらをランダムに配置し、8試行繰り返し、最初の2試行は、解析から取り除いた。これを1実験とし、実験参加者ごとに2回ずつ行った。刺激画像スライドのカテゴリーはランダムな順序に設定した。

2.3 IAPS を用いた刺激画像課題

これまで、情動に関する実験的研究において、さまざまな刺激課題を考案している。しかし、これは、結果の再現性に問題があり、客観的かつ定量的な刺激課題が必要とされていた。そこで、LangらによってIAPSが考案された。IAPSは、安全かつ非侵襲的な方法で情動を喚起するカラー写真のセットである。また、情動と注意の実験的研究において世界中で用いられており、情動刺激を選択する際、実験的な統制を可能としている。IAPSは、大規模な集団によって評価が行われ、それぞれの写真について快・不快度(Valence Mean)と覚醒度(Arousal Mean)という二つの指標が設けられている。

課題はIAPSの画像セットから、それぞれのスライドの評定値である快・不快度(Valence Mean)と覚醒度(Arousal Mean)の値が、Valence Mean:7.0~8.0 および Arousal Mean:6.5~8.0 の範囲内のもの(快画像)、Valence Mean:1.0~2.0 および Arousal Mean:6.5~8.0 の範囲内のもの(不快画像)を選出した。「快」・「不快」の2種のカテゴリーごとにそれぞれ15枚のスライドを選出した。また、最初の2試行は、実験開始に伴う急激な脳血流上昇を避けるため、予備試行とし、詳細な検討から除外した。

本研究では、脳機能計測と合わせて情動評価もジョイスティックにより記録した。脳機能測定装置は島津製作所製、近赤外光イメージング装置 OMM-3000 を用いた。光ファイバの配置を図2に示す。前頭葉の脳活動を全42ch計測した。実験参加者は、20歳代男性21名とした。実験実施前には実験の趣旨説明と併せてインフォームドコンセントを行った。

2.4 ジョイスティックによる情動評価

今回課題であるIAPSは、大規模な評価によって定量的にされた刺激課題であるが、その課題が実験参加者にとって快または不快であるかわからない。そこで、課題呈示時の主観的な情動評価を実施した。測定装置としては、ゲーム用ジョイスティック装置(Microsoft社製サイドウィンダージョイスティック)を使用した。実験参加者には、あらかじめ情動を感じた際にスティックを前後方向に傾けるように教示し、このスティックを前方向に傾けると不快を表わし、後ろ方向に傾けたとき快を表わすようにした。傾ける角度を大きくするほど、当該の情動を強く感じていることを示すもの

とした。また、最も前方向に倒した状態で-1000、中立した状態で0、最も後方向に傾けた状態で1000となるように値を設定した。

3 NIRS信号の解析

3.1 離散ウェーブレット変換による多重解像度解析

NIRS信号には、測定装置のノイズなど脳活動には無関係な信号も含まれるため、詳細な脳活動の評価を行うためには、これらの無関係な信号を取り除く必要がある。そこで、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、測定したNIRS信号を分解し、測定したNIRS信号から無関係なノイズである高周波成分を取り除き、視覚刺激呈示課題に関連する成分の再構成を行った⁶⁾。

ジョイスティックの結果は、実験参加者ごとに強度は異なったものの、全実験参加者を通して、意図していた課題条件に即した評価を行っていた。多重解像度解析後のNIRS信号からは、課題開始に関連しoxy-Hbの値の変動は確認された。しかし、人によっては信号の変動が微弱である上、実験参加者ごとに変動パターンにばらつきも存在し、一般的な傾向は確認できなかった。

3.2 標準得点化による加算平均

NIRS信号はその原理上、開始時からの相対変化の値である。一般的な傾向の検討を行う場合、このまま

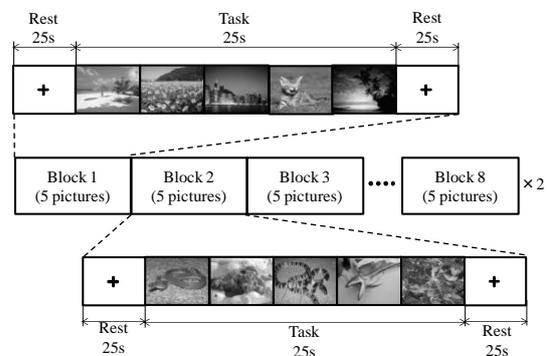


Fig.1 Experimental design

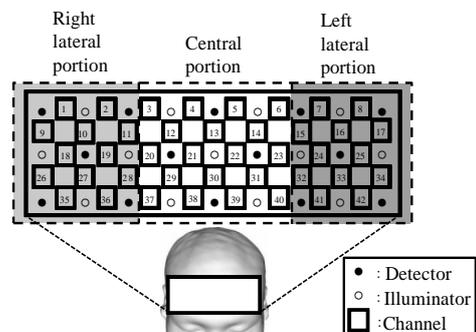


Fig.2 Position of optical fibers and three separate regions of channels

では、実験参加者間での測定値の比較や実験参加者全員の測定結果の加算平均の算出など、実験参加者全員の結果を評価することが難しい。そこで、多重解像度解析を行った後の oxy-Hb, deoxy-Hb それぞれのデータを各チャンネルで平均が 0、標準偏差が 1 になるように標準得点(Z score)化を行った^[6]。そこから、実験参加者 21 名分 42 データの加算平均を求めた。その後、ダミーブロックである最初の 2 試行を取り除き、各ブロックに分割し、課題条件ごとに足し合わせ、ベースライン補正を行ったこの全実験参加者の全快ブロックでの加算平均の結果を図 3 に示す。また同様に、全実験参加者の全不快ブロックでの加算平均の結果を図 4 に示す。

図 3 より、快課題の中央部 30 チャンネルにおいては、画像呈示に関連して、快タスク開始時直後から oxy-Hb の値は若干の減少を示した。図 4 より、不快課題の同チャンネルでは、画像呈示に関連して、不快タスク開始時直後から oxy-Hb の値は大きく減少することが確認した。

3.3 脳活動部位脳機能画像による評定

すべてのブロック内のレスト部分、タスク部分を分割し、課題条件ごとに足し合わせた後、各チャンネルで oxy-Hb の平均値を算出した。ここから、快情動時およ

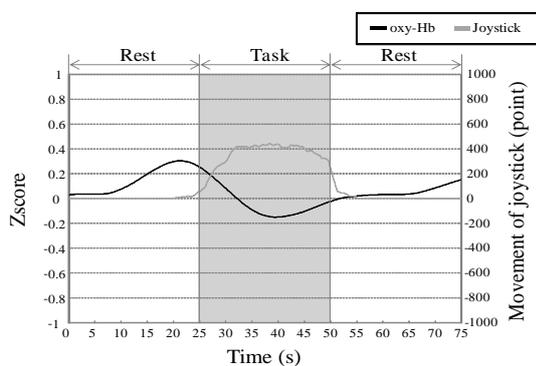


Fig.3 Averaged result when watching pleasant pictures in IAPS (Channel No. 30)

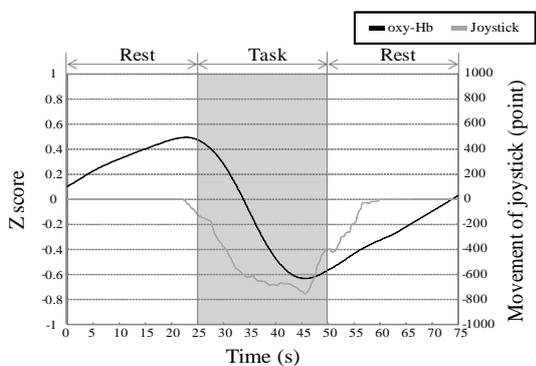


Fig.4 Averaged result when watching unpleasant pictures in IAPS (Channel No. 30)

び不快情動時の特徴的な脳活動の活動部位を確認するため、各タスク部分の平均値からレストの平均値の差分を求めた。この oxy-Hb 信号から脳機能画像を作成した。快条件の脳機能画像を図 5(a)に、不快条件の脳機能画像を図 5(b)に示す。脳機能画像の白色部分は oxy-Hb の値の上昇を示しており、黒色部分は oxy-Hb の値の減少した。

図 5(a)より、左右外側部分を中心に広範囲で oxy-Hb の値の上昇が確認できた。図 5(b)では、左右外側部分の oxy-Hb の値には大きな変化はなく、中央部で oxy-Hb の値の低下を示した。

4 条件間での活動部位の違い

図 5(a), 図 5(b)の脳機能画像において、課題により活動部位の違いが見られることから、前頭葉の活動部位間の差異について検証する。NIRS 信号のチャンネル配置を図 2 のように右外側部、中央部、左外側部に分け、各領域に含まれるチャンネルの信号の加算平均を求めた。加算平均波形から各課題呈示中の血液変化量が最大になる値と最小となる値の差分を求め、各課題間で各部位ごとにその最大増減量の t 検定を行った。図 6 では、各課題で各部位ごとの検定結果を示す。右外側部では、快条件で増加傾向を示し、不快条件では大きな増減が確認されなかったが、課題間の比較では有意差を示した ($p < 0.05$)。また、中央部では、快条件で増加傾向、不快条件では減少傾向を示し、条件間の比較では有意差が確認された ($p < 0.01$)。

5 考察

図 5(a)の快条件では、前頭葉左右外側部分で oxy-Hb の値の上昇を示した。これは、計測部位と近傍部位である眼窩前頭皮質が関係していると考えられる。眼窩前頭皮質は、主観的な快楽性の経験を仲介する役割を担っているとされている^[7]。したがって、快条件における左右外側部分で oxy-Hb の値の上昇は、快を喚起する画像を見たことによって眼窩前頭皮質が賦活し、それに伴い近傍の前頭葉左右外側部にも賦活が及んだものと考えられる。

図 5(b)の不快条件において、左右外側部分の oxy-Hb の値の変動が見られず、中央部分で減少する結果が得られた。恐怖や不快感などの情動は大脳辺縁系、特に扁桃体と深い関係があり、思考や判断などの高次認知活動を行う前頭葉の活動の影響があるとされている^[8]。浅野らの先行研究では課題が音であるが、不快を喚起したことで扁桃体の活動亢進し、前頭葉中央部付近から血液が流出したことで oxy-Hb の値が低下したと考えられている^[3]。今回の実験における不快条件時の中央部減少は、浅野らの不快条件と類似した結果であった。

したがって、激しく不快を喚起する画像を見た実験参加者は、扁桃体が活動亢進し、前頭葉において比較的近傍の中央部から血液が流出したことによって oxy-Hb の値が低下したと考えられる。

図 5(a), 図 5(b)の脳機能画像と図 6 の最大増減量の t 検定を行った結果で対応する条件で比較すると、ほぼ同様の傾向である。さらに、脳機能画像でも中央部に特徴的な違いが確認でき、統計的にも有意差として表れ、快・不快情動の評価を行う上で重要な部位であると考えられる。しかし、課題呈示時の oxy-Hb の推移や最大増減量には、実験参加者ごとでばらつきが大きい。統制された課題を用い、ジョイスティックによる課題の自己評価を行ったが、複数ある課題に対し、各実験参加者で多少抱く印象が異なったことが原因と推測され、さらに詳細な検討が必要である。

6 結 言

NIRS による脳活動計測から快・不快情動を評価できる可能性を視覚刺激呈示実験にて検証した。IAPS から選定した快・不快画像を呈示し、そのときの脳活動を計測し、快条件と不快条件での脳活動を比較した。

全実験参加者の条件ごとに加算平均および、それぞれのタスク平均値からレスト平均値の差を算出し、脳機能画像を製作した。その結果、快条件では前頭葉広範囲で oxy-Hb の賦活が見られ、不快条件の中央部では oxy-Hb の減少が確認できた。また、活動部位の差異の評価では、中央部において、快条件と不快条件の血流の増減量に有意差が確認された。よって、中央部に着目することで、快・不快情動の評価が可能なることを示した。

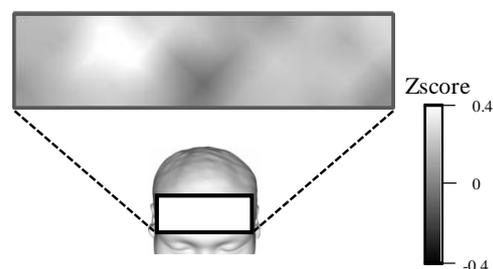
今後は、心拍などの他の生体指標を用いて、脳活動と合わせて複合的に検討する予定である。

「参考文献」

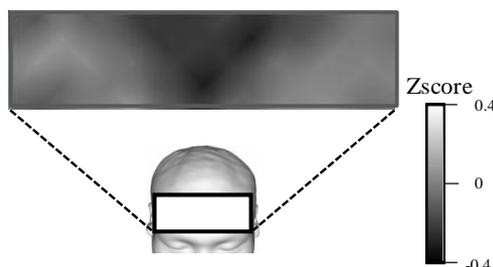
- [1] ジェラルト・ザルトマン, 心脳マーケティング, ダイヤモンド社 (2005).
- [2] Samuel M. McClure, Jian Lim, Damon Tomlin, Kim S. Cypert, Latane M. Montague, and P. Read Montague.: Neural Correlates of Behavioral Preference for Culturally Familiar Drinks; *Neuron*, Vol.44, pp.379-387 (2004).
- [3] 浅野裕俊, 引重暁, 井出秀人: 機能的近赤外分光法を用いた快・不快音聴取時の脳活動評価; 電気学会 電子・情報・システム部門, Vol.131, No.1, pp.70-75 (2011).
- [4] 小栗宏次: NIRS 信号に基づく聴覚刺激呈示に伴う不快情動反応の判別; NU-Brain シンポジウム資料

集, Vol.2, pp.63-73 (2012).

- [5] 小川誠二, 上野照剛: 非侵襲・可視化技術ハンドブック - ナノ・バイオ・医療から情報システムまで -; 株式会社エヌ・ティー・エス, 第 3 章 (2007).
- [6] 柳沢一機, 綱島均, 他: 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; ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.11, No.2, pp.183-192 (2009).
- [7] Kringelbach, M.L.: The orbitofrontal cortex: linking reward to hedonic experience; *Nature Reviews Neuroscience*, Vol.6, pp.691-702, (2005).
- [8] 管弥生, 石原健司, 他: 扁桃体病変例における感情認知; 日本高次脳機能障害学会誌, Vol.23, No.2, pp.160-167 (2003).



(a) A result of subtracting the pleasant task from the rest



(b) A result of subtracting the unpleasant task from the rest

Fig.5 Results of differences in averaged tasks

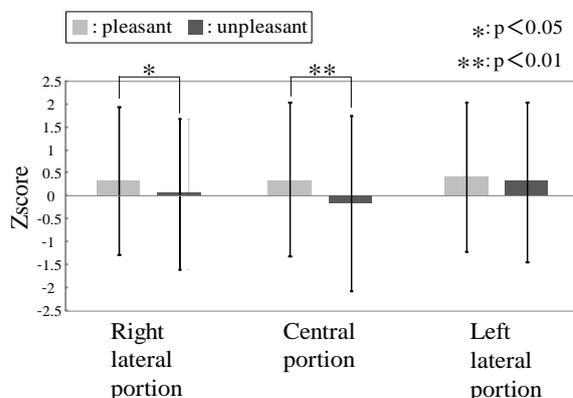


Fig.6 The test results of the maximum amount of change in oxy-Hb of tasks