

# NIRS を用いた価格評価時の前頭前野における 脳活動傾向に関する考察

Consideration about the tendency of prefrontal cortex activation  
during evaluation of product price: A NIRS study

光田 友里恵\*<sup>1</sup>  
Yurie Mitsuda

後藤 かをり\*<sup>1</sup>  
Kaori Goto

参沢 匡将\*<sup>2</sup>  
Tadanobu Misawa

下川 哲矢\*<sup>3</sup>  
Tetsuya Shimokawa

広林 茂樹\*<sup>2</sup>  
Shigeki Hirobayashi

\*<sup>1</sup>富山大学大学院理工学教育部知能情報工学専攻

Graduate School of Science and Engineering for Education, University of Toyama

\*<sup>2</sup>富山大学大学院理工学研究部 (工学)

Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama

\*<sup>3</sup>東京理科大学経営学部

The School of Management, Tokyo University of Science

In late years, the use of the functional brain mapping equipment spreads through not just medical and welfare fields but also management and economic fields. In the background, we investigate the psychology of consumer from brain activity during a purchasing action because consumer doesn't always take purchasing action reasonably, and there is the aim to make use in marketing. In this study, we focus on price which is one of decision-making factor during a purchasing action, and performed the basic study of price evaluation using near-infrared spectroscopy (NIRS) to make price evaluation systems in the future.

## 1. はじめに

近年の神経科学の研究進展による非侵襲性の脳神経測定機器発展に伴い、ニューロマーケティングの研究が進んでいる。ニューロマーケティングとは脳情報を利用した新しいマーケティングリサーチである。元来、経済学的観点では消費者が合理的行動をとることを前提としていたが、行動経済学の研究から消費者の心的構成の違いによって意思決定が異なってくること(フレーミング効果)などの消費者の非合理的な現象が証明されている [Tversky 81]。ニューロマーケティングではそのようなブラックボックス的な消費者の購買動機を脳神経活動から明らかにし、また無意識下の購買心理状況を引き出すことができる可能性がある。

先行研究では、報酬に対して反応するとされる内側前頭前皮質(MPFC)や危険、恐怖に反応するとされる内側眼窩前頭皮質(mOFC)、判断や意欲に関連があるとされる背外側前頭前皮質(DLPFC)などが購買に関する神経的予測因子となりうるとしてその可能性を報告している [Knutson 07] [Plassmann 08] [McClure 04]。また購買に関する脳部位が、商品を選択する必要がない無意識の状態でも報酬を期待する反応が現れることが分かっている [Levy 11]。このような脳部位の解明に伴い、購買意思決定補助システムに関するBCI研究への応用も進展しつつある。

そこで本研究では、ミクロ経済における消費者の購買意欲は消費者の好みと商品価格に左右されるというセオリーに基づいて、その購買意思決定要因の一つである価格に着目した。near-infrared spectroscopy (NIRS) を用い、購買に関する部位の脳活動の傾向を考察した。具体的には、まず価格についてある程度金銭感覚のある身近な商品の画像と簡単な情報をディスプレイ上に表示し、被験者にその価格を予測してもらう。レストを挟んだ後にその商品価格を提示し、価格に対してどう感じているか(高い・低い)を脳の賦活情報から調べ、実際に判

別精度を求めるという流れである。

脳機能を測定する機器として脳波計(EEG)や機能的磁気共鳴画像法(fMRI)が多用されている。EEGは時間遅延が比較的小さいことが長所として挙げられるが、空間分解能は低い。またfMRIは脳深部の計測が可能であり、空間分解能が高いという長所を持つ。しかし高価で大型の機器であることから、被験者への拘束性の高さが問題である。一方、NIRSはEEGに比べ空間分解能が高く、小型で維持のしやすい機器である。特別な測定環境を必要としないことから、購買意思決定のような日常的行動中の脳活動計測に即していると考えられる。

## 2. 実験

本研究では、価格評価時の購買に関する部位の脳活動を観察し、特徴を分析した。ここで述べる価格評価とはタスク中に提示される商品価格に対する「高い」「低い」の被験者による主観的評価であると定義する。

### 2.1 タスク設計

タスクの流れを図1に示す。

#### (a) Step1

被験者の脳活動を安定させるために画面中央に十字のマークを表示し、休憩時間(レスト)とする(10s)。

#### (b) Step2

商品と簡単な情報(メーカーや内容量、産地など)を表示する。その際、被験者には提示された商品の価格を予測してもらう(10s)。

#### (c) Step3

Step1と同様にレストをとる(10s)。

#### (d) Step4

被験者にStep2で提示した商品の価格を提示する(10s)。ただし提示価格は被験者が商品に対してより高いまたは低いと感じられるよう、実際の価格の1/2~2倍の範囲でランダムに設定した。この際NIRSを用いて、価格を予測した上で提示価格を見たときの被験者の脳活動を記録する。

連絡先: 参沢 匡将

富山大学大学院理工学研究部(工学)

〒930-8555 富山県富山市五福3190

misawa@eng.u-toyama.ac.jp

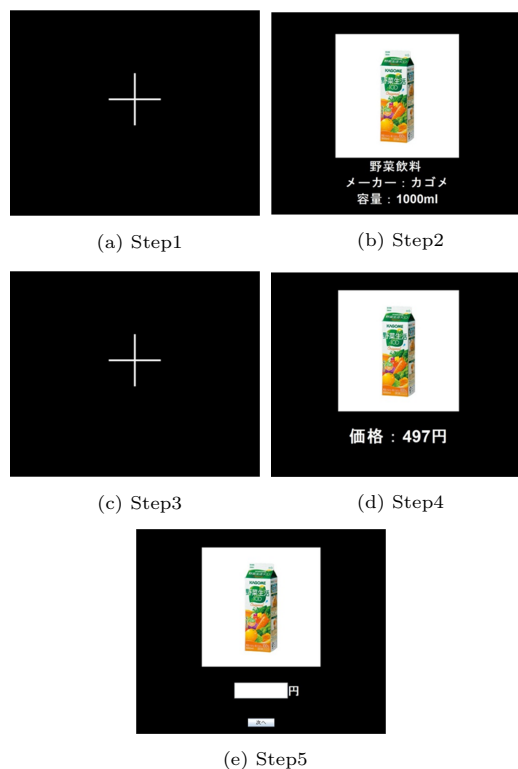


図 1: タスク設計

(e) Step5

Step2 で予測した価格を入力してもらう。価格の入力が済み次第, Step1 に戻る。

タスクに用いた商品画像は 55 枚あり, Step1 ~ Step5 の流れを 1 トライアルとして計 55 トライアル行った。またトライアルに用いられる商品画像の提示順はランダムとした。

2.2 実験概要

実験には, 富山大学工学部の学生 5 人 (男性 4 人, 女性 1 人, 右利き, 21 ~ 22 歳) が参加した。実験環境として, ブラインドを閉め, 消灯した室内で実験を行った。

被験者には価格評価に関する実験であることは伝えず, ランダムに提示される商品の価格を予測するタスクを行ってもらった。実験後に価格を高いと感じているデータ群・低いと感じているデータ群にデータを分割し, その特徴を分析する。また学習器に Support vector machine (SVM) を採用し, 価格評価の判別精度を求めた。

2.3 脳機能測定機器

本研究では, 脳活動を測定する機器として Spectratech 社製 OEG-16 モデルの NIRS を用いた。NIRS は血中のヘモグロビンが近赤外光を吸収することに着目し, 生体内へ入射した近赤外光が生体外へ戻ってきた際の光量変化から血中の酸素化ヘモグロビン (oxyHb) と脱酸素化ヘモグロビン (deoxyHb) の濃度変化を測定する機器である。また OEG-16 のサンプリング間隔は 0.65s である。測定部位は図 2 に示す様に前頭前野である。図中の数字は観測チャンネル番号を示す。

また本研究では, 先行研究で報酬・罰の感受性と関連があるとされる部位である内側前頭前皮質 (MPFC) や内側眼窩前頭皮質 (mOFC), 背外側前頭前皮質 (DLPFC) を対象とし, それらに対応する 6ch, 7ch, 8ch, 9ch, 12ch, 13ch, 14ch の oxyHb 濃度変化の傾向を分析した。

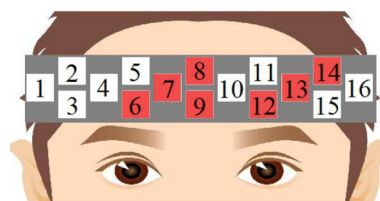


図 2: 対象部位

3. 結果

「高い」・「低い」と感じている 2 つのデータ群の有意差を t 検定を用いて被験者ごとに調べたところ, 5 人中 4 人に有意差のあるチャンネルが見つかった。また提示価格と予測価格の乖離率と oxyHb の賦活には相関性があった。SVM を用いて「高い」・「低い」の判別精度を求めたところ, 被験者の判別率の平均が 80% を超えた。

3.1 有意差のあったチャンネル

図 1 で示した価格評価の反応が表れる Step4 時の oxyHb 濃度変化を, 被験者ごとに「高い」と感じたデータ群と「低い」と感じたデータ群の 2 つに分割した。分割の仕方は Step4 で提示された価格 (以下, 提示価格) と被験者が予測した価格 (以下, 予測価格) の差分をとり,

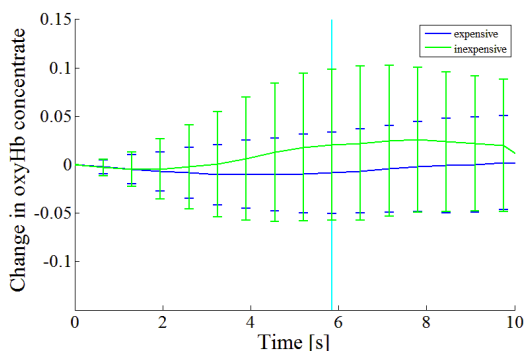
$$\text{提示価格} - \text{予測価格} > 0 \quad (1)$$

$$\text{提示価格} - \text{予測価格} < 0 \quad (2)$$

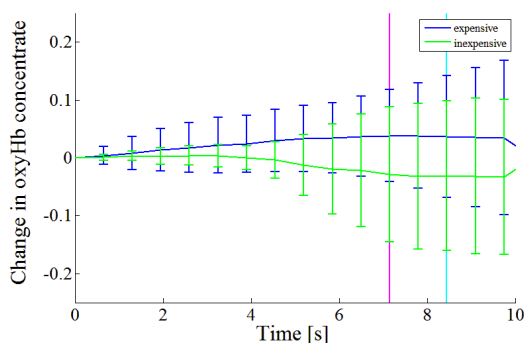
の式において, 数式 (1) のときに「高い」, 数式 (2) のときに「低い」のデータ群に振り分けた。そしてデータ群間に有意差があるかを t 検定を用いて調べ, 被験者ごとの結果を表 1 にまとめた。表 1 から被験者 5 人中 4 人に有意差のあるチャンネルがあることが分かる。特に 7ch と 13ch は 5 人中 3 人に有意差が出ており, 反応の出やすいチャンネルであることが窺える。図 3 には有意差があったチャンネルの例を示す。青色の波形が「高い」と感じたときのデータを加算平均したものである。ただし, このとき加算平均したデータは予測価格が提示価格より 20% 以上乖離したデータで構成されている。乖離率については 3.2 にて詳しく説明する。緑色の波形は「低い」と感じたときのデータを加算平均したもので, このときのデータは, 数式 (2) で振り分けられた全てのデータで構成されている。そして 2 つのそれぞれのデータにエラーバーで標準偏差を表示した。垂線が t 検定の結果である。有意確率が 2% の場合をピンク, 5% の場合を水色で示している。図 3 から 2 つの加算平均の波形は時系列を追うごとに離れるように賦活しており, 価格に対して「高い」・「低い」の傾向が見て取れる。図 3(c) のように一見脳の活性が出にくいような被験者でもデータの分散が小さいため, 有意差が複数点得られる被験者もいた。

表 1: 有意差のあったチャンネル

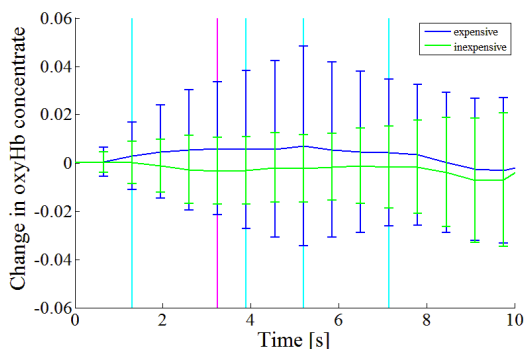
Subject	Significantly different channel
A	7ch, 13ch
B	13ch
C	6ch, 7ch, 9ch
D	None
E	7ch, 8ch, 13ch, 14ch



(a) 被験者 A-13ch



(b) 被験者 C-6ch



(c) 被験者 E-7ch

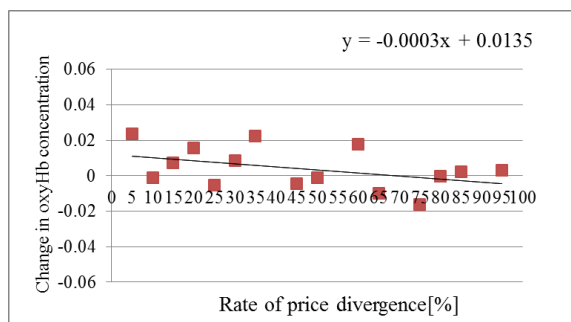
図 3: 有意差のあったチャンネル例

### 3.2 乖離率ごとの oxyHb 濃度変化の平均値

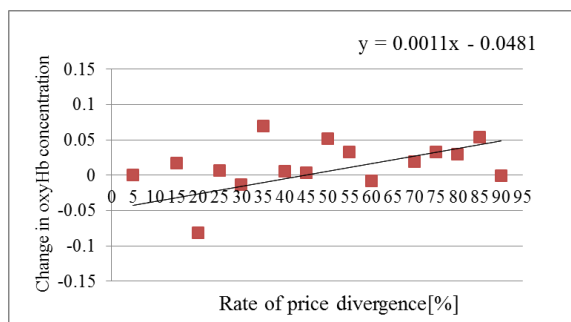
予測価格と提示価格の乖離と脳の反応の相関を分析するため、3.1と同様に Step4 時の oxyHb 濃度変化のデータを用い乖離率 5% 刻みで分割し、それぞれ加算平均を算出した。ここで述べる乖離率とは予測価格が提示価格からどの程度差があるのかを百分率で示した値であり、以下の式で表す。

$$\text{乖離率} [\%] = \frac{|\text{提示価格} - \text{予測価格}|}{\text{提示価格}} \times 100 \quad (3)$$

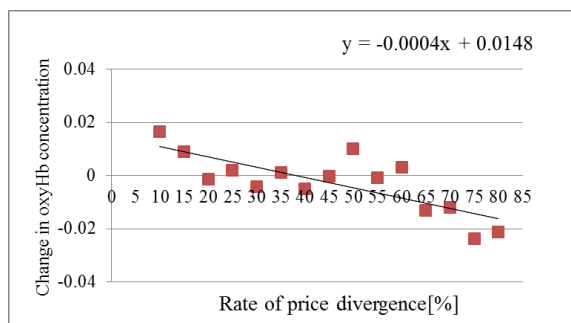
さらに乖離率 5% 刻みで分割した oxyHb 濃度変化の加算平均データの平均値をそれぞれ算出した。このとき、OEG-16 のサンプリング間隔が 0.65s のため計測可能な 16 点分の平均値となる。図 4 は乖離率 5% ごとの oxyHb 濃度変化(「高い」と感じたときのデータ群)の関係を散布図で示したものであり、何人かの被験者を例として挙げた。図の横軸が乖離率、縦軸が oxyHb 濃度変化を示している。図中に線形近似線で、散布図の傾向を表した。



(a) 被験者 A-7ch



(b) 被験者 C-6ch



(c) 被験者 D-13ch

図 4: 乖離率ごとの oxyHb 濃度変化の平均値の例

図 4(a), 図 4(c) からは「高い」と感じるほど脳が不活性化していることが分かる。逆に図 4(b) では「高い」と感じるほど脳が活性化している。どの図からも oxyHb 濃度変化の賦活と乖離率に相関性がみられた。

### 3.3 SVM による判別精度

判別精度検証に Support vector machine (SVM) を用いた。SVM はサンプルを 2 値に分類する 2 クラスのパターン認識手法である。本研究では価格評価を「高い」「低い」の 2 クラスで定義しており、この「高い」または「低い」をどの程度判別できるか判別率を求めた。また実験において被験者ごとに 55 のサンプルデータ (step4 時の oxyHb 濃度変化) が得られた。それらのサンプルデータを 5 つに分割し、4 つを学習データ、1 つをテストデータとする 5-fold Cross Validation で判別を行った。さらに対象チャンネルである 6ch, 7ch, 8ch, 9ch, 12ch, 13ch, 14ch の 7 つを Factor とした場合とそれらの Factor を総当りで選出し、組み合わせた場合の最も判別精度が高かった結果を表 2 にまとめた。すべての Factor を用いた場合よりも Factor を選出した場合の方が判別率が向上した。Factor を選出した場合、全員が判別率 70% を超えており、平均として 80% 以上となった。

表 2: 判別精度

Subject	Best accuracy(%) (channel non-select)	Best accuracy(%) (channel select)
A	80.0	81.8
B	70.9	74.5
C	83.6	87.2
D	72.7	85.4
E	61.8	74.5
Average	73.8	80.7

#### 4. 考察

結果から 5 人中 4 人に「高い」・「低い」のデータ群間に有意な差があるチャンネルがあることが分かった。また図 3(b), 図 3(c) のようにサンプリングされた 16 点の中で複数点有意差のあるチャンネルを持つ被験者が見られた。価格に対して「高い」・「低い」の反応が顕著に現れる傾向にあったチャンネルは、先行研究と一致して内側前頭前皮質 (MPFC) や内側眼窩前頭皮質 (mOFC), 背外側前頭前皮質 (DLPFC) と対応する, 6ch, 7ch, 8ch, 9ch, 13ch, 14ch であった。特に 7ch と 13ch は 5 人中 3 人に有意差があり, 価格評価の反応が出やすいチャンネルであると考えられる。

図 3 のそれぞれのグラフを見ると, 2 つの加算平均の波形は時系列が進むにつれて徐々に分かれ始め, 価格に対して「高い」・「低い」の傾向が見て取れる。しかし標準偏差のエラーバーが重なり合っているためデータの分散が大きく, この点において「高い」・「低い」の判別を誤認識するという問題がある。

図 4 の乖離率ごとのデータ平均の散布図を見ると, oxyHb の賦活と乖離率に正または負の相関が観察できる。図 4(b) では正に相関しており, 図 4(a), 図 4(c) では負に相関している。「高い」と感じた際に, 正方向に反応する被験者もいれば, 逆に負の方向に反応する被験者もいるなど, 反応について被験者毎に個人差が見られた。相関の仕方が同様でなかったのはそのためであると考えられる。中には 2 つのデータ群間に有意差のあるチャンネルは見受けられないものの, oxyHb の賦活と乖離率から相関性が顕著に見て取れる被験者もいた。図 4 のグラフの傾向から, 消費者が提示された価格よりもどの程度乖離して「高い」または「低い」と予想していたのかを予測することも可能であると考えられる。

3.1 と 3.2 の結果から oxyHb 濃度変化の賦活状況から価格に対する「高い」・「低い」の判別ができると予想され, 実際に判別精度を 3.3 にて SVM を用いて検証した。その結果被験者の判別率の平均が 80% を超えた。提示価格と予測価格の乖離においてはどの程度判別できるかはまだ未知数ではあるものの、「高い」・「低い」の 2 クラス評価に関しては高確率の判別が期待できると言える。

また判別の誤認識を減らす手段として, 対象とするチャンネルすべてを学習時の Factor とするよりもチャンネルを組み合わせることで多次的に 2 クラスを判別する方が判別精度向上につながった。これは被験者によって価格評価時の反応が出やすいチャンネル・出にくいチャンネルがあるためであると考えられる。Factor の選出の仕方によってはさらに精度向上が目指せるのではないかとと思われる。

#### 5. まとめ

本研究は, 購買意思決定要因の一つである価格に着目し, 購買に関する部位の脳活動から価格に対する評価反応の傾向を分析し, 「高い」・「低い」の判別精度検証を目的とした。そこで被験者が感じた「高い」・「低い」の 2 つのデータ群の差を t 検定を用いて調べたところ, 被験者 5 人中 4 人に有意差のあるチャンネルが見られた。また oxyHb の賦活と乖離率の関係を散布図を用いて調べたところ, 正または負の相関が見られた。このことから被験者ごとの相関の傾向をさらに詳しく調べることにより, 消費者がどの程度価格に対して「高い」・「低い」と予測していたかを脳活動の情報から予測することも可能であると考えられる。SVM を用いた「高い」・「低い」の 2 クラス判別においては被験者の判別率の平均が 80% を超すという結果となった。このことから 2 クラス価格評価における判別は高確率で行えると言及できる。

また本研究ではどの程度「高い」・「低い」と感じているのかを乖離率で示したが, 日常的によく利用する商品の価格を評価する場合は, ~% 高い・安いと評価するよりは ~円高い・安いと評価するのが感覚的に近いのではないかと考えられる。今後は乖離率だけでなく, 値段の差異による反応との関係も調査し, 脳活動の情報から被験者の商品価格の評価を予測する手法についても検討を行っていく予定である。加えて今回は学習器として SVM を採用したが, 確率モデルである Hidden Markov Models(HMM) などの他の識別手法においても判別精度の検証を行う見込みである。

#### 謝辞

本研究は独立行政法人 科学技術振興機構 研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム (育成研究)「脳情報を用いた商品価格評価システムの開発」によって助成金を援助して頂いた。ここに感謝の意を表する。

#### 参考文献

- [Tversky 81] Tversky, A. and Kahneman, D.: The framing decisions and the psychology of choice, *Science*, Vol. 211, pp. 453-458 (1981)
- [Knutson 07] Knutson, B., Rick, S., Wimmer, G. E., Plelec, D., and Loewenstein, G.: Neural Predictors of Purchases, *Neuron*, Vol. 53, Issue. 1, pp. 147-156 (2007)
- [Plassmann 08] Plassmann, H., O 'Doherty, J., Shiv, B., and Rangel, A.: Marketing actions can modulate neural representations of experienced pleasantness, *PNAS*, Vol. 105, No. 3, pp. 1050-1054 (2008)
- [McClure 04] McClure, S. M., Li, J., Tomlin, D., Cypert, K. S., Montague L. M., and Montague, P. R.: Neural Correlates of Behavioral Preference for Culturally Familiar Drinks, *Neuron*, Vol. 44, pp. 379-387 (2004)
- [Levy 11] Levy, I., Lazzaro, S. C., Rutledge, R. B., and Glimcher, P. W.: Choice from Non-Choice: Predicting Consumer Preferences from Blood Oxygenation Level-Dependent Signals Obtained during Passive Viewing, *The Journal of Neuroscience*, Vol. 31, No. 1, pp. 118-125 (2011)