

NIRS を用いた書籍メディアの違いによる脳活動の特徴の計測と分析 - ユーザビリティ評価への応用 -

Analzyation of Frontal Lobe Phenomenon in Reading Different Book Media - Application of Usability Evaluation -

経営システム工学専攻 鈴木啓章

Hiroaki Suzuki

1 はじめに

2010年5月、日本ではアップル社のタブレット端末 iPad の発売を皮切りに、その後各社のタブレット端末の製品が発売されている。また、2016年の日本市場におけるタブレット端末の販売台数予測では1100万台にも上るとされている。これに伴い、電子書籍市場もパソコン・携帯電話からスマートフォン、タブレット端末、専用の電子ブックリーダーへと多様化の兆しを見せており、市場が大きく動き始めている。

この背景から、電子書籍に関する調査・研究が行われてきているが、主観的な評価をもとに書籍メディアのユーザビリティ評価の比較が論じられている。しかしながら、書籍メディアの違いによるユーザビリティ評価と感性との関係について、科学的視点から客観的に実証し、体系化された研究事例は非常に少ない。

そこで本研究では、脳機能計測の一つである近赤外分光法 (NIRS) を用いて書籍メディアの違いによる脳活動の特徴の計測と分析を行い、メディア間の特徴を考察する。

2 NIRS 測定装置について

2.1 近赤外分光法とは

近赤外分光法は、吸光物質を含む液体に光を照射したときの光の減衰と吸光物質の濃度変化を示した Beer-Lambert の法則[1]に基づき、大脳表面(大脳皮質)の測定領域における局所血流量を計測する方法である。脳の神経活動に伴い脳血流が局所的に変化する BOLD 効果 (Blood Oxygenation Level Dependent) から、近赤外分光法によって脳活動が行われた部位のヘモグロビン濃度変化を知ることが可能となる。

2.2 ヘモグロビンとは

ヘモグロビンはヒトを含む全ての脊椎動物や一部のその他の動物の血液中に存在する赤血球の中にあるタンパク質である。酸素分子と結合する性質を持ち、肺から全身へと酸素を運搬する役割を担っている。ヘモグロビン

は酸素分圧の大きい場所では酸素と結合して酸化ヘモグロビン (oxy-Hb) となり、酸素分圧の小さい場所では酸素と解離して還元ヘモグロビン (deoxy-Hb) となる。酸化ヘモグロビンと還元ヘモグロビンを合わせたものを総ヘモグロビン (total-Hb) と呼ぶ。

2.3 BOLD 効果とは

1986年、Fox & Raichle によって行われた PET (陽電子放射断層撮影法) を用いた研究により、神経活動時には局所脳血流が上昇しても、脳の酸素消費率はほとんど上昇しないことが明らかになっている。これは脳が必要とする以上の酸素が神経活動部位に送り込まれていることを示している。このことから静脈側の血管内では酸化ヘモグロビンの量が増加し、逆に還元ヘモグロビンは低下する。このような脳の活動部位に多量の血液が流入し、酸化ヘモグロビンの量が増加する神経活動部位の酸素代謝変化は BOLD 効果と呼ばれている[2]。脳の神経が活動する際の酸化ヘモグロビン、還元ヘモグロビンの変動の一般的な様子を図2に示す。一般的には神経活動が始まると酸化ヘモグロビンが上昇し、少し遅れて還元ヘモグロビンが減少する。BOLD 効果は後述する NIRS 装置の生理学的基礎になっている。

2.4 NIRS 測定装置の概要

近赤外分光法(NIRS)測定装置は株式会社日立メディコが開発した計測装置である。頭皮上から頭蓋内に向けて射光部から2波長(695nm, 830nm)の近赤外光を照射し、照射位置から25~30mmの大脳皮質を通ってくるため、この部分の組織内の脳血流量変化に影響を酸化ヘモグロビン、還元ヘモグロビン、それらを合わせた総ヘモグロビンを計測することが出来る。

測定時には、キャリブレーションを行い、キャリブレーション時の状態を基準とした相対ヘモグロビン濃度から脳活動変化の時間・空間変化を可視化することができる。サンプリングタイムは0.1~10秒間で任意設定が可能であり、本研究ではデータをより詳細に検証するため

サンプリングタイムは0.1秒で行った。

3 脳機能とNIRSに用いる脳活動について

3.1 大脳について

大脳とは脳全体の約8割を占める重要な部分で、主に前頭葉・頭頂葉・後頭葉・側頭葉に分かれ、左脳・右脳にも分かれている。表面は大脳皮質に覆われていて、大脳皮質は運動や知能、感情などの高次機能を司っている。

3.2 前頭葉

大脳皮質の中で、前頭葉の前頭前野は人の思考、理性、感情に大きく影響しており大脳の中でも重要な部分となっている。また内的発話に大きく関わる言語野も存在しており、一般的にブローカ野(運動性言語野)、ウェルニッケ野(感覚性言語野)として知られる[3]。このことからこの領域は、大脳皮質全体の約30%を占め、人らしく活動をするための領域とされている。

3.3 後頭葉

後頭葉は、視覚情報を担う領域である。目で見た情報はまずここに送られ、ここから脳のさまざまな部位に伝達される。また、視覚的なイメージもここで処理される。

3.4 国際10-20法について

国際10-20法とは、頭部形状から脳波電極の位置の決定によく用いられる手法であり、電極配置位置の再現性のある導出結果を得る。本研究でも国際10-20法を参考に、後頭葉の視覚領域と思われる部位の導出を行った。

3.5 ブローカ野の位置決定について

ブローカ野の位置決定では、眼窩外耳道基準線(OMBL: orbito-meatal base line)と言われる外眼角と耳孔を底辺とする正三角形の頂点から1cm前方が、ブローカ野に相当するとされている。本研究ではこの箇所を覆うようにプローブホルダを装着させた。

3.6 NIRSに用いる認知活動について

ここでは、NIRSに用いる認知活動について説明する。認知活動に対する脳活動には個人差が生じるため、様々な認知活動の利用可能性を考慮する必要がある。本研究では読書の認知活動として、内的発話を用いた黙読に着目した。黙読は内的発話の一種で、頭の中の音読と呼ばれる具体的発話を伴わない言語的な活動である。文章を黙読した際に、頭の中で復唱及び意味の理解が行われる。これは日常的に特に意識することもなく行われている認知活動である。このことからユーザビリティ評価の指標

に応用できると考え入力信号として検証を行った。黙読は言語的な認知活動であり、大脳皮質のブローカ野に関係することが報告されている。ここでは測定領域に3.3節で説明した、言語野を含む前頭葉を測定対象として実験を行った。

4 実験課題の選定

4.1 書籍メディアの違いによる研究事例

①読書におけるメディアの違いによる情報処理の比較分析

ドイツのヨハネス・グーテンベルク大学のStephan Fussell氏を中心とした研究チームは、読書において一般的には紙の本の方が良いと思われているが、電子書籍で読むことの方が情報処理の観点において優れていることを実証した。この研究から紙の本に対する主観的な好みは、情報の処理がいかに優れているかを示すものではないと結論付けている[4]。

②メディアの違いによる情報習得スピードと主観評価の比較分析

日本の山内らによる研究ではiPadと雑誌の両方で漫画を読んでもらい、情報取得スピードと主観評価で両者を比較した。漫画をiPadで読む場合、従来の紙に印刷された漫画雑誌より、平均で17%読書(情報取得)スピードが速く、統計的にも有意な差がでた。主観評価項目である「持ちやすさ」、「操作性」、「自由度」、「内容理解」、「画質」の項目の数値の平均は、「内容理解」を除き、iPadが紙の主観評価を上回っていた。また、「画質のよさ」と「ページのめくりやすさ」の項目で統計的に有意な差で上回ったと報告している。

4.2 実験課題の選定

以上、2つの研究事例を挙げたが、これらの研究は、書籍メディアの違いによる情報処理や情報取得スピードといった評価とアンケートによる主観評価から、統計的な解析によりメディアの違いを比較分析している。実験後にアンケートを実施しているが、事後検証のアンケートだけではメディア間の違いを明らかにすることは非常に困難である。それは、一般的な読書における認知活動では、人によってその文章をただ見ているだけか、何か思考を働かせながら読んでいるのかどうかの区別ができないため、個性が反映される主観評価のアンケートだけでは、メディア間の評価は難しい。そこで、脳血流の生理的指標とアンケート評価を関連づけることができれば、メディア別に適したコンテンツを選ぶことが可能になる

と考えられる。

しかしながら、黙読と脳血流の変化の関係は明らかになっていないため、黙読に計測した生理的指標の変化がどのような要因に影響されたかを特定することは難しい。脳活動計測は、人が気づいていない認知段階や、言葉に表せない認知段階の相違が検出されることもあると言われることから、メディアの違いによる黙読中の脳血流の特徴抽出と共に、アンケートによる主観評価との関係を明らかにすることを目的とする。そのため、本研究では手始めとして書籍メディアの違いと特徴を見るため、実験課題として文庫本を選定した。

5 書籍メディアの違いによる黙読実験

5.1 実験概要

本実験は黙読の認知活動における脳血流が、書籍メディアごとに特徴が表れるのかを確認する。被験者は健康な20代男子学生3名であった。

5.2 実験環境

実験環境として視覚情報統制のため、被験者の視界に何も入らないことと壁一面の色を統一した環境を構築した。これは計測データのノイズを除くためである。

5.3 測定位置

測定位置は3.4節で挙げた国際10-20法を参考に行った。ブローカ野の成分を含むとされる周辺にプローブが位置するように装着し測定を行った(図1)。

信号を抽出する位置は3.2節で述べたブローカ野が文章を黙読した際の脳血流の計測で特徴の変化が見られると考え、また3.3節で述べた後頭葉が目で見えた情報を脳のさまざまな部位に伝達することから、この2つの計測データを測定データとして用いることとした。プローブ装着場所はプローブAをブローカ野、プローブBを後頭葉とした。



図1：装着イメージ

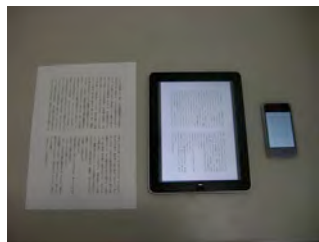


図2：書籍メディア

5.4 実験タスク

実験タスクは、書籍メディアの違いによる脳血流の特

徴を抽出するため、本実験では書籍メディアとして、本(印刷物)と電子書籍(iPad・iPod touch)の2種類の合計3種類を使用した(図2)。タスクの条件として、被験者に文字のみで内容が構成されている文章とし、文章は(1)アーサー・コナン・ドイル著の『赤毛連盟(和訳)』、(2)太宰治著の『走れメロス』、(3)与謝野晶子訳の『源氏物語』、の3冊とした。

5.5 実験手順

実験では、5.4節で述べたメディアごとに、文章の黙読を行う課題(タスク)を30秒、安静状態(レスト)を60秒と設定し1セットとした。それぞれ3セット繰り返し行い実験中の脳活動を計測した。それぞれ順番にタスク①～③、レスト①～③とする。レストの条件には、視覚情報統制のため眼前に提示した固視点を注視しながら何も考えないように教示した。また、タスク毎に5.4節の実験タスクで述べた文章を冒頭から黙読するように教示した。

6 実験結果

6.1 計測データに含まれるノイズ・アーチファクトについて

実験で計測した実データには、アーチファクトやノイズによる使えない計測データが生理データに含まれていることが多い。アーチファクトは、主にヒトの体の動きのことをさし、計測中の頭の動きや前かがみがこれにあたる。ノイズは主に以下の3点が原因とされている。

①オプトードの光ファイバケーブルが絡まったままの計測

②プローブと頭皮が非接触で浮いている状態での計測

③計測中の被験者の顔の筋肉運動(呼吸やまばたき等)

①・②は、計測を行う前に注意をすれば、未然に防ぐことが可能である。③の場合は、呼吸やまばたきはヒトの生命活動のため、ノイズとして計測中に防ぐことは困難とされている。解析では、これらのデータを除去したうえで進めていく。

6.2 アンケートによるメューザビリティ評価結果

メディアの違いによる黙読実験の後に、アンケートによる主観評価を被験者全員に行った。内容としては、今回実験で用いたメディアを黙読した際の、「読みやすさ・見やすさ」を順位付けしてもらった。表1は被験者3名の順位評価である。

表 1 : 各被験者の「読みやすさ・見やすさ」の順位評価

	印刷物	iPad	iPod touch
被験者A	1	2	3
被験者B	2	1	3
被験者C	1	2	3

また、順位付けの他に自由記述の質問を2つし、その回答をもらった。質問内容は以下の2つである。

- (1) 上記の順位にした理由をお答えください。
- (2) 普段、見やすさ・読みやすさを評価する上で、重要視する指標があればお答え下さい。

この質問に対して得られた回答は以下である。

- (1)
 - A) 紙の方が、目が疲れにくいということと、画面の大きさによって文字の大きさが異なったため。
 - B) iPad は丁度良い文字サイズ、端末の大きさであった。印刷物は少し大きすぎて見にくかった。iPad touch は見にくい。
 - C) 文字の大きさの順に並べた。大きい方が読みやすかった。
- (2)
 - A) 文字の大きさ、文字の色（背景とのコントラストが高いもの）
 - B) 文字サイズ、文字フォント、背景色、メディアのサイズ、メディアの操作感
 - C) 文字の大きさ、読む方向（横読みの方が読みやすい）、明るさ（明るい方が良い）

7 解析

メディア間のヘモグロビン濃度変化に有意差が見られるのかを確かめるために、各チャンネルにおける各メディアの3つのヘモグロビン濃度変化の平均値を用いてt検定を行った。解析は、赤外分光法（NIRS）測定装置光トポグラフィ ETG-4000 に内蔵されている解析ソフト

（Multiple Data Analysis）を用いた。このソフトを用いることにより、t値で表現された検定波形が視覚的に表示されるため、どのチャンネルのどのタイミングで有意差があるかが分かる利点がある。

8 考察

実験結果で得られたメディアごとの酸化ヘモグロビン濃度変化のNIRS 信号加算平均波形から、2Dトポグラフィ画像に変換し時系列に変化を見てみた。後頭葉の右側が

酸化ヘモグロビン濃度変化として大きく反応が見られた（図3）。

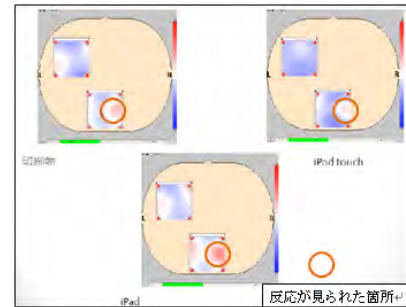


図 3 : 反応が見られたチャンネル箇所

これは、黙読するための「文章を見た」という視覚情報は後頭葉で処理され、脳のさまざまな部位に伝達される傾向が示唆された。また、この後頭葉の反応から遅れて、ブローカ野部分の酸化ヘモグロビン濃度変化にも、各メディアとも何かしらの反応が見られ、この時間がメディア別のユーザビリティ評価に繋がるのではないかと考える。

9 おわりに

本研究は、脳機能計測の一つである近赤外分光法（NIRS）を用いて書籍メディアの違いによる脳活動の特徴の計測を行い、メディア間に見られた特徴を分析した。

今回はタスクとして文庫本から文章を選定したが、文章の内容が脳の受け取る情報に大きく変わってきてしまったことも考えられる。そのため特徴だけを捉える実験課題のデザインが必要である。実験ではノイズやアーチファクトの排除を考慮した実験計測を行い、被験者数を増やすことによって、特徴が見られたチャンネルの脳血流量値と主観評価との関係性を見ていきたい。

参考文献

- [1] IUPAC Gold Book - Beer-Lambert law (or Beer Lambert Bouguerlaw)
<http://goldbook.iupac.org/B00626.html>
- [2] 片山 容一, 酒谷 薫: “臨床医のための近赤外分光法”, 新興医学出版社, 2002
- [3] Horwitz B, Amunts K, Bhattacharyya R, Patkin D, Jeffries K, Zilles K, Braun AR. "Activation of Broca's area during the production of spoken and signed language: a combined cytoarchitectonic mapping and PET analysis." *Neuropsychologia.*, Vol141, Issue14, pp1868-1876, 2003
- [4] Johannes Gutenberg University Mainz : Different reading devices, different modes of reading? (プレスリリース)
<http://www.uni-mainz.de/eng/14685.php>