

# NIRSを用いた表示媒体の違いによる脳活動の変化の計測

## Measurement of Difference of Brain Activity for Various Display by NIRS

中央大学大学院理工学研究科経営システム工学専  
博士課程前期課程 11N7100030I 増田 貴宏

### 1 はじめに

本研究は、読書時における表示媒体の違いから起こる記憶の違いを脳血流(NIRS)の観点から、紙書籍と電子書籍を用いて計測を行う。

電子書籍市場は非常に拡大を続けており2016年は2012年現在よりも約3倍の市場規模と予測されている[インプレス R&D 調べ]。その内新たなプラットフォーム向け電子書籍は同年比率で約6倍の伸びも予測されている。

増加の起因としてメディアの多様化があげられる。昔まではPCや携帯電話で電子書籍を使用していたが、現在はスマートフォン・タブレット端末・ブックリーダーなど様々なメディアが普及したためだと考えられる。また、2010年2月に出版社31社による「日本電子書籍出版社協力会」、翌月には総務省、文部科学省および経済産業省による「デジタル・ネットワーク社会における出版物の利活用の推進に関する懇談会」が開催され、国・社会・ユーザにおいて電子書籍の関心が急速に高まってきている。

紙書籍と電子書籍での読書の違いが様々な方向から研究されている[1~4]。読書スピードについては、自由に手に持って読める条件下では紙書籍の方が電子書籍よりも速いが、書籍を固定する条件下ではメディア間の読書スピードに違いがない[4]。読書スピードへの影響要因は、メディアの表示品質よりも操作性の影響が大きい事が示唆される。

上記であげた電子書籍の実験課題は、娯楽や趣味の読書が取り上げられている。しかし、実際の電子書籍端末の活用場面として想定される場面は娯楽や趣味と言った読書ばかりではない。iPadなどの多機能端末においては、インターネットを経由した情報取得や、学生や社会人の学習のための読書などの実務的な役割も期待されている。この場合には娯楽の読書とは異なる読み方が要求される。アスキー総合研究所が2010年に、小学生保護者を対象に「電子教科書導入の意識調査」を行った[5]。電子教科書の導入について「導入して欲しい」と回答した保護者は32.3%で、「導入してほしくない」、「わからない」がそれぞれ33.5%、31.4%であった。導入してほしくない理由は「紙の教科書の方が学習効果があると思うから(59.0%)」「紙に比べて画面が見にくいと思うから(31.1%)」が上位にあり、ユーザにおいて学習面での懸念も多く見られている事がわかる。

Diemand-Yauman らの研究では、電子書籍端末やコンピュータの鮮明な画面とフォントは、意識下で脳がその単語を重要でないと判断してしまうために情報取得の妨げになると述べている[6]。複数の異なるフォントで記憶の保持を調べたら、情報を保持しておくには美しいフォントではない方がよいと結果が出た。よって、表示方法の違いによって内容理解や記憶のしやすさにも何らかの影響がある事が推察される。

本研究では、ユーザに効率よく読書をしてもらうと言う面と、電子書籍端末の開発の支援の面の2つを目的として研究を進めていく。

### 2 先行研究

#### 1. 答えを探す読みにおける紙の書籍と電子書籍端末の比較

柴田博仁らの研究では、オフィス業務で頻繁に観察される答えを探すための読みを対象に、紙書籍と電子書籍端末(iPad, Kindle), PCとで、作業のスピードや正確さなどのパフォーマンスを比較した[7]。答えを探す読みにおいて紙の書籍を利用する方が電子書籍端末を利用する場合よりも効率的に作業できると示せた。

#### 2. 短編小説の読みにおける紙の書籍と電子書籍端末の比較

高野健太郎らの研究では、紙書籍と電子書籍端末(iPad, Kindle), PCを用いて短編小説を読んでもらい、読書速度、読書時の認知負荷、メディアに対する主観評価の観点から読みやすさを比較した[8]。読書スピードはページめくりを含まなければ同水準、含んだ場合はKindleとPCに比べて紙書籍とiPadでの読みは優位に早かった。認知負荷には優位な差は表れなかった。紙書籍において主観評価はいずれの評価項目でも異なるメディアの中で最も高い評価を得た。

#### 3. 表示媒体が文章理解と記憶に及ぼす影響

小林亮太らの研究では、タブレット端末と紙媒体を用いて、文学的文章と説明的文章を読ませ、主観評価及び、読み速度、記憶テスト、理解テストの結果を比較した[9]。主観的な読みやすさでは、iPadは紙と同等であった。読み速度や逐語的記憶では、説明的文章において表示媒体による有意差が認められた。また、文章理解ではタブレット端末よりも紙媒体に優位性がある事が明らかになった。

これらの先行研究を踏まえると、電子書籍端末の効率的利用を考えるうえで、表示媒体が文章の記憶のしやすさに与える影響につい

てより検証する事は重要である。また、記憶に着目した研究では記憶テストと主観評価を研究したものしかない。そこで本研究では、黙読時の脳血流に着目し、NIRSを用いて記憶のしやすさについて電子書籍と紙書籍の比較を行う。

### 3 NIRS 測定装置の概要



図 1. NIRS (ETG-4000)

近赤外分光法(NIRS:図 1 に掲載)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。本研究では ETG-4000 を使用する。頭皮上から頭蓋内に向けて射光部から近赤外光を照射し、大脳皮質の組織内の脳血流量変化、酸化ヘモグロビン(oxy-Hb)・還元ヘモグロビン(deoxy-Hb)と、それらを合わせた総ヘモグロビン(total-Hb)を計測する事が出来る。本研究では、その中でも脳活動を表すのに一番信頼性の高い oxy に着目する。

### 4 NIRS で用いる測定箇所

#### 4.1 脳について

本研究での計測箇所は国際 10-20 法を参考にする[10]。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ている。

##### 【大脳】

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。

##### 【前頭前野】

脳の活動性の調整、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役割を果たしている。記憶や学習と深く関連している。特に初めて体験する作業などで、この領域の活動が必要である。また、不快なストレス刺激や不安感により、活性化される。

前頭前野に含まれるブローカ野は運動性言語中枢とも呼ばれ、言語処理、及び音声言語と理解に関わっている。

##### 【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。

#### 4.2 測定位置

黙読とは内的発話の一種であり、頭のなかの音読と呼ばれている。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、頭のなかで復唱及び意味の理解が行なわれている。これは日常的に特に意識することなく行なわれている認知活動である。よって、本研究では言語を伴う前頭葉に含まれるブローカ野と記憶や学習と深く関連している前頭前野を計測する。

### 5 実験

#### 5.1 実験概要

実験目的は黙読時の記憶の客観的指標として脳機能計測(NIRS)の検討を行う。また仮説①手の動作を行わない読書であれば紙の方が記憶しやすい、②読書中の前頭前野における脳血流増加は紙の方が大きい、これら 2つの仮説の検証を行う。

電子書籍 2 冊と紙書籍 2 冊を各 30 秒間読む実験を行う。被験者:20 代男子学生 10 名(A グループ、B グループ:5 名)表示媒体:電子書籍(iPad)、紙書籍(図 2 のように電子書籍と視覚情報を同じように作成した)

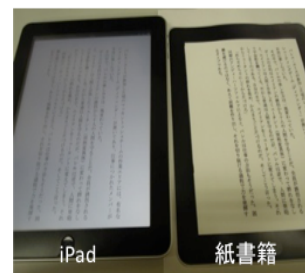


図 2. 表示媒体

実験コンテンツ:ビジネス本 4 冊

#### 5.2 実験環境

実験環境:視覚情報統制のため以下の条件で行う

- ①視線の先には物を置かない
- ②レスト時は固定点を注視

#### 5.3 実験手順

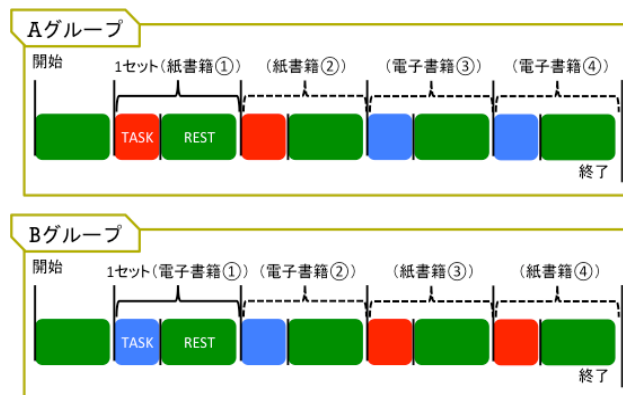


図 3. 実験手順

以上のように順序効果を考慮するために A ブループ、B グループと 2 グループに分けて実験を行う。この実験の間を NIRS で脳血流

を計測する。タスク中に読書 30 秒間読み、レスト中に固定点の注視を 35 秒間行う。NIRS 計測が終了後に記憶テスト、アンケートを行う。

5.4 記憶テスト・アンケート

記憶テスト(図 4)は問題を読んだだけでは推測できない穴埋め 5 点満点の問題を作成した。解析で使用するために被験者にアンケート(図 5)を実施した。

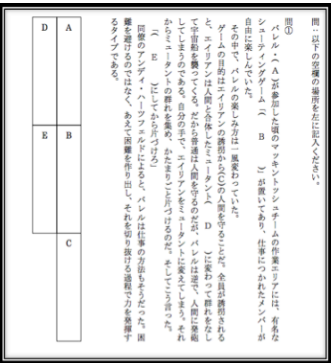


図4.記憶テスト(一部)

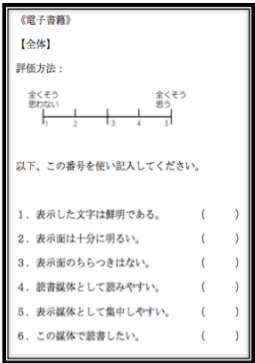
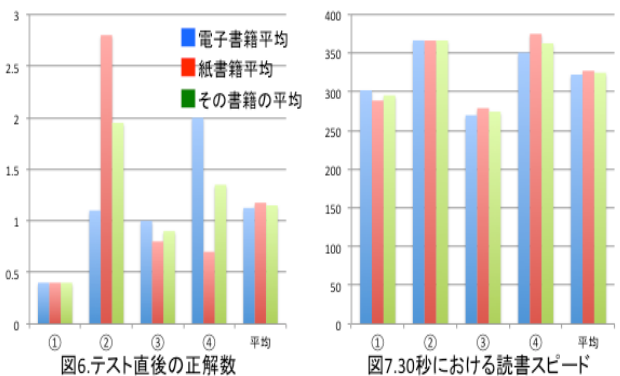


図5.アンケート(一部)

6 実験結果

6.1 実験結果



テスト、読書スピード共に紙書籍と電子書籍では有意差はみられなかった。書籍②の紙書籍平均が電子書籍平均よりも非常に高くなった。また、読書スピードは書籍ごとに違いはあるが、電子書籍と紙書籍ではほとんどかわらない結果になった。

6.2.1 解析方法①

NIRS(ETG-4000)に搭載されている解析ソフト(Multiple Data Analysis)を用いてインテグラル解析→加算平均→t 検定を行った。t 検定は「紙書籍-電子書籍」で行ったので中央より上だと酸化ヘモグロビン(oxy)の変化量が電子書籍よりも紙書籍が大きくなる。読書時間(30 秒)の oxy の紙書籍と電子書籍の有意差をみる。

解析を行う際のデータ加工は Pre:20[s],Task:30[s],Recovery:20[s],Post:20[s],移動平均:5[s]である。

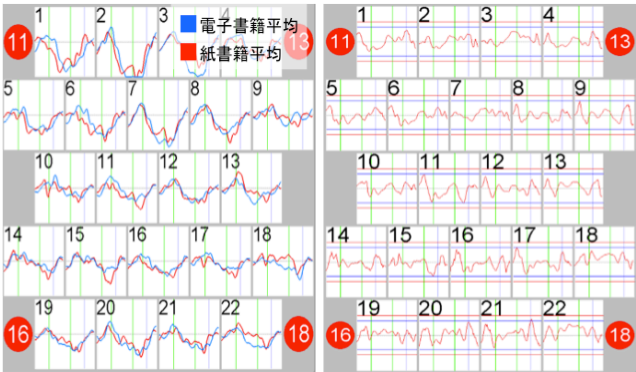


図8.電子書籍、紙書籍の加算平均

図9. t 検定のグラフ

6.2.2 解析結果①

解析①より、電子書籍、紙書籍の加算平均を図 8 に示す。電子書籍と紙書籍の波形は非常に似ており、電子書籍・紙書籍両方の ch、主に 1~9ch では oxy の減少傾向が見られる。

t 検定を行った結果を図 9 に示す。読書中はどのチャンネルも有意差は見られなかった。

6.2.3 考察①

有意差を検出する事ができなかった。前頭前野は非常に様々な作業を行う場所であり、それらによって今回検出したい電子書籍と紙のの違いのシグナル(信号)が埋もれてしまった可能性がある。また、本研究で検出したいシグナルは非常に小さい可能性があり波形に表れなかったと推測できる。したがって、小さなシグナルでも検出できる解析②を次章で行う。

6.3.1 解析方法②

- ①被験者 22ch の oxy の値を時系列ごとに平均値を取る
- ②被験者 10 名、紙書籍データ 10 個、電子書籍データ 10 個となる
- ③紙書籍と電子書籍で t 検定を行う
- ④各個人の紙書籍と電子書籍の読書時間の oxy の平均値からグループ分けを行う
- ⑤グループ内で紙書籍と電子書籍で t 検定を行う

6.3.2 解析結果②

解析②の③紙書籍と電子書籍の t 検定の図を以下(図 10)に表す。

実験タスク中において 5 % 有意差はみられなかったので、解析②の手順④を行う。各被験者の読書時間中の oxy の平均値を求めそれを表 11 に表す。各被験者の

表1. 読書中のoxyの平均値			
	電子	紙	判定
A	0.040	-0.013	電子
B	-0.064	0.029	紙
C	0.001	-0.016	電子
D	0.046	-0.048	電子
E	-0.095	-0.101	電子
F	-0.030	0.065	紙
G	0.028	0.005	電子
H	-0.015	-0.092	電子
I	0.030	-0.014	電子
J	-0.041	0.008	紙
平均	-0.010	-0.018	

oxyの量が多い書籍にグループ分けを行う。表11より、電子グループは7名(A,C,D,E,G,H,I),紙グループは3名(B,F,J)となった。各グループで電子書籍と紙書籍のt検定を行った結果を図11・12に示す。



図11. 電子グループPvalue値



図12. 紙グループPvalue値

	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$
1	0.738	0.495	0.767	0.566
2	0.613	0.798	0.611	0.317

	紙書籍	電子書籍
電子グループ	1.11	1.39
紙グループ	1.00	0.56

図11・12より、電子・紙グループ共に5%有意差がみられた。電子グループは読書中の24%の割合で7.1秒間、紙グループは読書中の28%の割合で8.4秒間であった。アンケート結果より3通りの場合分けを行い再度t検定を行った。

- $\alpha$ : 1.読書をよくする                      2.読書しない
- $\beta$ : 1.紙・電子書籍両方共使う            2.紙書籍のみ使う
- $\gamma$ : 1.読書好き                                2.読書嫌い
- $\delta$ : 1. 紙が読みやすい                    2. どちらでも変わらない

$\alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta$ のどのグループ分けも有意差は見られなかった。また、表2より、Pvalueの平均値は非常に高い。よって、有意差がみられたのは紙グループと電子グループの場合分けをした場合のみであった。

### 6.3.2 考察②

表1より、電子グループは電子書籍のほとんどがプラスであり、紙グループは紙書籍の全部がプラスである。よって、人により電子書籍と紙書籍どちらが脳血流に影響を与えるのか異なる。記憶テストの平均値をグループごと載せた表を表3に示す。表3より、電子グループは電子書籍の方が点数がよく、また紙グループは紙書籍の方がいいという結果になった。よって、oxy(脳血流)の増加が記憶に影響を与えているのではないかと推測できる。アンケート結果と脳血流と比較したが、主観評価と脳血流は本研究では有意差が見られなかったため関係性がない事がわかった。

## 7 結論

個人により記憶しやすい表示媒体が異なると推測される。それはoxy(脳血流)の増加が高い方が記憶しやすく、その表示媒体がその

人にとって記憶しやすい表示媒体であると推測される。

よって、脳機能計測(NIRS)は読書時の記憶の客観的指標となると考えられる。

## 8 おわりと今後の展望

本研究では、NIRSを用いて記憶の観点から紙書籍と電子書籍の比較を行った。手の動作を伴わない場合を想定、視覚情報のみでの紙書籍と電子書籍の脳血流の違いの研究を行った。本来の読書ならば手の動作を含むので今後の研究では手の動作を含んだ読書で紙書籍と電子書籍の脳血流の違いを研究していきたい。

紙書籍と電子書籍の記憶に関して明確な違いがわかれば、電子書籍端末の開発に貢献ができ、より利用者にとって効率的に使うことができるよう支援していきたい。

## 謝辞

日頃より、熱心な研究討論や実験への協力を戴く中央大学理工学部ヒューマンメディア研究室の皆様、感性ロボティクス研究センターの皆様深く感謝します。また、本論をご精読頂きました中央大学理工学部経営システム工学科の加藤俊一教授、庄司裕子教授、坂根茂幸教授に感謝いたします。

## 参考文献

- 磯野春雄(2005)「電子ペーパーで読書した場合の視覚疲労の測定」『映像情報メディア学会誌』Vol. 59, No. 3, pp. 403-406
- 面谷信(2005)「電子ペーパーのめざす読みやすさに関する研究」『日本画像学会誌』Vol. 44, No. 2, pp. 121-131
- 寇氷水(2006)「異なる表示媒体の読みに関する統制条件下における比較研究」『図書館情報メディア研究』Vol. 4, No. 1, pp29-44
- 寇氷水(2006)「読書における異なる表示媒体に関する比較研究」『図書館情報メディア研究』Vol. 4, No. 2, pp1-18
- アスキー総研ニュース「電子教科書導入の意識調査」
- Diemand-Yauman(2011)「Effects of disfluency on educational outcomes」『Cognition』Vol. 118, No. 1, pp111-115
- 柴田博仁「答えを探す読みにおける紙の書籍と電子書籍端末の比較」『情報処理学会研究報告』Vol. 2011-HCI-141, No. 5
- 高野健太郎「短編小説の読みにおける紙の書籍と電子書籍端末の比較」『情報処理学会研究報告』Vol. 2011-HCI-141, No. 4
- 小林亮太「表示媒体が文章理解と記憶に及ぼす影響」『情報処理学会報告書』Vol. 2012-HCI-147, No. 29
- H. H. Jasper(1958)「The ten twenty elect rode system of the international federation」『Electroencephalography and Clinical Neurophysiology』Vol. 10(1958) pp. 371-375