

手書き作業とケータイ文字入力の脳活動の比較

—NIRS を用いた脳活動の比較計測と解析—

佐野 清美¹⁾、丁井 雅美²⁾、田村 博³⁾

1)(株)日本医療事務センター(2008 年度卒業)、

2)広島国際大学 医療福祉学部 医療経営学科、

3)田村ヒューマンインタフェース研究所(元 広島国際大学 心理科学部 教授)

abstract

Brain activities engaged in operating mobile devices are analyzed using near infrared spectroscopy (NIRS). Two dimensional trajectories of oxy and deoxy hemoglobin derived from NIRS are used to understand brain activities. Also in this paper is reported a smart method to suppress redundant head motion while measuring brain activities by NIRS. In this measurement, the typical mobile phone of mobile computing devices is used. The method of the comparison measurement using the difference NIRS in brain activity of two work, the work written by hand on paper and the character input work using a mobile phone, and a result are reported.

キーワード 脳活動、モバイル、NIRS 計測

1. はじめに

ケータイを中心に多くのモバイル機器が身の回りにあふれている。ケータイは一人一台まで普及することで生活の一部となった。

モバイル機器の登場は、運転中、移動中のケータイやカーナビ操作が安全に及ぼす影響、微小画面の視認性、少数キー文字入力による精神負担など多くの課題を提起している。この間、大脳研究には幾つかの新しい方法が導入され、近年特に fMRI と近赤外計測(NIRS)が有望視されている。しかし、NIRS の計測波形の解読についてはまだ確定的な方法が見出されているわけではない¹⁾。

ケータイ文字入力の行動について NIRS 波形を解析し、酸化(Oxy)・還元(Deoxy)ヘモグロビン (Hb)波形が平面上に描く 2 次元軌道に着目し、計測部位の大脳活動を理解する方法を考案した。それによれば、NIRS 軌道には傾斜-1 の休止軌道、傾斜 1 の活性化軌道があり、他にタスクと部位に特徴的な曲線軌道を示す。これらの軌道は脳の局所部位に流入する酸化ヘモグロビン、流出する還元ヘモグロビン、そして局所内部での酸素消費により生成される。還元ヘモグロビンの特性によるものであり、多様な軌道を生起させる可能性がある²⁻³⁾。

本稿では、モバイル機器の代表的なケータイを用いた実験である。紙に手書き作業とケータイを利用した文字入力する作業の二つの作業の脳活動を島津製作所製 NIRS (OMM3000) を用いた比較の計測の方法と結果について報告する。

2. 脳機能計測法

2-1 脳機能の検査法

大脳の機能が部位により異なることはよく知られており (脳機能局在)、人の脳の代謝量や血流量の変化を局所的に測定することにより、脳の活動状態をみることができる。また、この脳活動を測定し画像化する方法は、空間分解能/時間分解能と侵襲性から、PET(陽電子放射断層撮像法)、MEG (脳磁界計測法装置)、MRI (磁気共鳴画像法装置)、NIRS (近赤外分光法装置) などが近年開発されている 4)。

2-1-1 fMRI (機能的磁気共鳴画像法)

fMRI (機能的磁気共鳴画像法) は、人を測定してその内部を画像化する装置で、その他超音波やX線など、臨床の場で普及している。生体に波動を照射し、生体からでてくる (戻ってくる) 信号に基づいてそれらの吸収などの情報を画像化する。生体測定に使われる波動の特徴としては、水による吸収が低いこと、逆に言えば、水による吸収が小さい派動が生体を透過しやすい。脳のさまざまな処理を行う際に、神経活動に伴って脳組織の血行動態が変化し脱酸素化ヘモグロビンの量が変わることによって起こる BOLD(Blood Oxygenation Level Dependent)信号を、高磁場により発生する磁気共鳴信号によって検出し、脳活動を画像化する。高い空間分解能 (mm 単位) で 3 次元的な脳部位の活動を測定することができる。

2-1-2 MEG (脳磁界計測法)

MEG (脳磁界計測法) は、生体から自発的に放射されている派動を測定する装置である。高感度の磁気センサーである超伝導量子干渉素子(SQUID)を頭部の周囲に多数配置し、電氣的神経活動に伴って発生する微弱な磁界の変化を計測することにより、高い時間分解能 (ms 単位) で脳活動を計測することができる。その他、EEG (脳波) や体内に放射性同位元素を注入することで代謝という重要なデータを与え体内を抜けてくるガンマ線を検出するポジトロンエミッショントモグラフィ (PET) もある。

2-1-3 NIRS (近赤外分光法)

NIRS とは、近赤外分光法といい、近赤外分光を外部から照射し、組織を透過してきた光を分析することにより、組織を流れている血管中のヘモグロビン酸素化状態を外部から安全に調べることのできる装置である。近赤外分光とは、700~1,000 nm の波長で、頭部

や筋肉などの生体組織に対して透過性が高く、ヘモグロビンの酸素化状態に応じて吸収特性が変化する光のことである。また、ヘモグロビンの酸素状態による光吸収の度合いを測って、酸化ヘモグロビン変化と還元ヘモグロビン変化を表示するものであり、動きを伴う脳活動を計測することができる装置である。人の血液は、酸素状態で色が変わる。これは、赤血球の中にヘモグロビンという色素タンパク質の性質によるもので、ヘモグロビンは酸素と結合し、体のいろいろな器官に酸素を運び、必要に応じて酸素を供給している。生体の酸素の指標として酸化ヘモグロビン (oxyHb) 変化、還元ヘモグロビン (deoxyHb) 変化を計算し、それらの和である全ヘモグロビン (totalHb) 変化とあわせて Hb パラメータを表示することを目的とする装置 (システム) である。

2-2 NIRS の測定手順

本実験では以下の測定手順で行った。図 1 は、NIRS を用いた実験手順をフローにまとめたものである。パソコン起動、NIRStation 起動、測定諸条件の設定、被験者登録、キャップの設定、機器の自動調整、測定開始などの方法などを解説する。

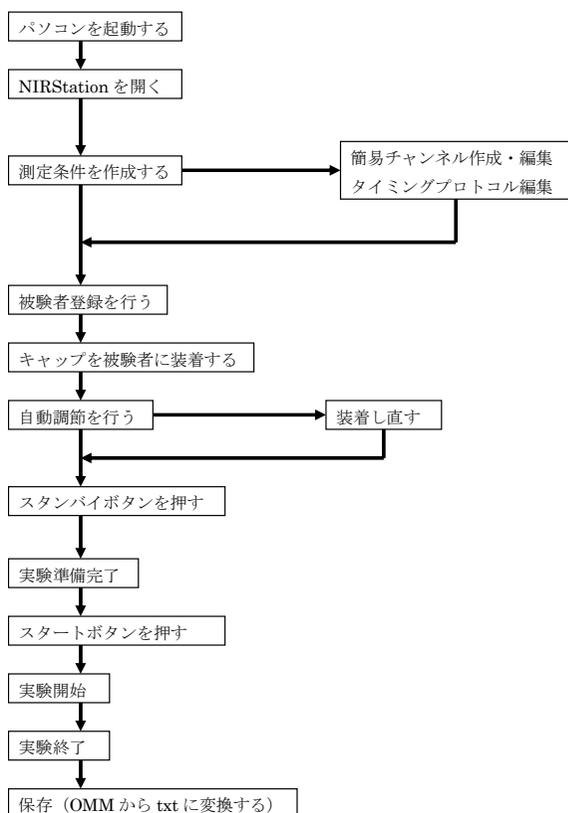


図 1 実験手順フロー

2-2-1 パソコンを起動

まずは、ディスプレイ下にあるパソコンの主電源スイッチを押し、起動させる。制御装置、ファン、温度コントローラなどの動作を開始するためのスイッチを入れる。パソコン（Window XP）を起動してから、ディスプレイ左下にあるオレンジと緑のスイッチを押す。点灯すれば、正常なことを示している。マウスをテーブルの上にセットする。図2は前方から見た NIRS 起動装置である。液晶ディスプレイ、メインパソコン、キーボードの情報処理機器と測定ユニットが組み込まれている測定機器である。

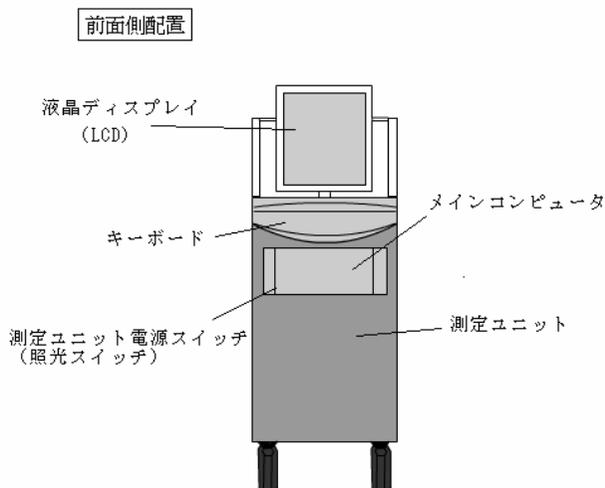


図2 NIRS 起動装置

2-2-2 NIRStation

パソコンが起動したら、NIRS のプログラムを起動させる。パソコン上の起動は、スタート→プログラム→NIRS→FNIRS を選択することでソフトウェアが起動する。NIRS の画面が表示されたら、右下にある測定ボタンを押す。図3は、NIRStation が起動する画面である。



図3 起動画面

2-2-3 測定条件の作成

測定の諸条件の作成を行う。チャンネル設定、プロトコル設定を行う。図4はチャンネルを設定のファントムの設定画面である。

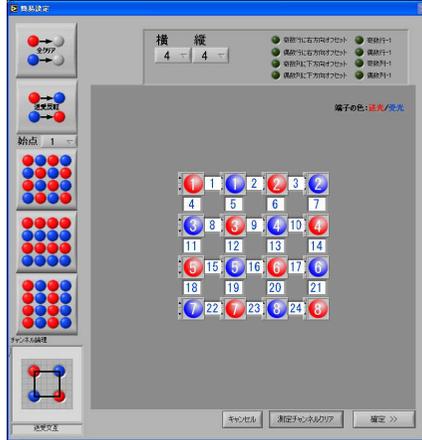


図4 ファントム設定例

そのほかに、外部チャンネルを設定したり、タイミングプロトコルを設定したりすることもできる。外部チャンネルとは、NIRS で使用する光ファイバ以外に外部からのアナログ信号を取り入れる際などに使用する。また、タイミングプロトコルとは、「レスト→タスク→レスト」という組み合わせで、実験に合わせて時間設定を行うことで図5はタイミングプロトコル編集画面である。レストとは、休憩時間のことをいい、タスクとは実験時間のことを指す。測定する際に、秒単位で選択することができる。組み合わせ次第では、いくつものパターンを作ることが可能である。2つ目のレストは必要に応じて設定することも可能で、「レスト→タスク」だけの組み合わせでもかまわない。組み合わせは最大31種類のパターンがある。

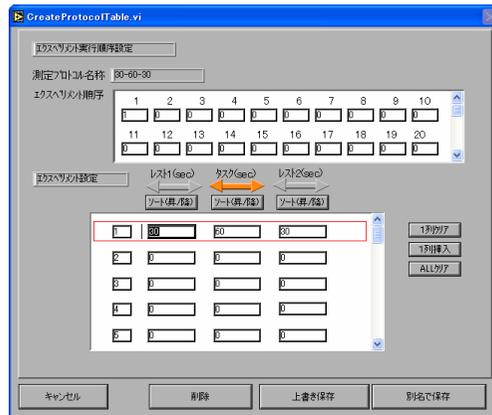


図5 タイミングプロトコル編集画面

2-2-4 被験者登録

被験者登録では、必ず被験者の氏名、実験日、データ保存フォルダ、条件ファイル等を入力する。図6は被験者登録するときそれぞれの情報を入力する画面である。データを保存するファイルは、実験当日にフォルダを作成する。フォルダ名は、実験の日付にする。入力した情報は保存されるデータ名に関連している。

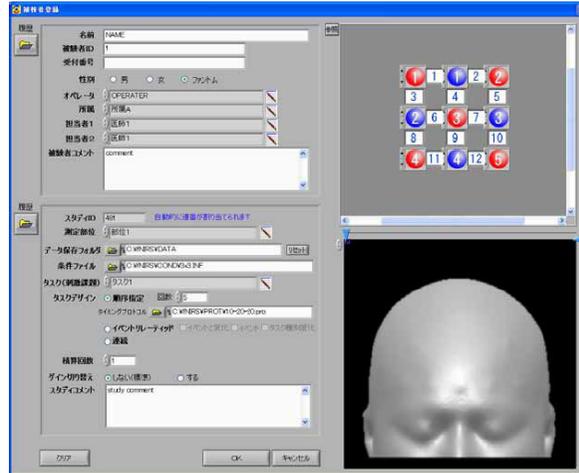


図6 被験者登録画面

2-2-5 キャップ装着

キャップの装着する際には多少の工夫が必要である。キャップを被験者の頭に装着する前に髪を濡らし、クシを利用して、上手く分け目を作ることが必要であり、上手く分け目を作るためにワックス等を利用することもある。これらの工夫は測定時のノイズを最小限少なくするための方法のひとつである。図7はホルダにファイバヘッドを装着する手順である。図7のように、耳かきなどを使って毛皮が見えるように髪をかきわけ、ファイバをホルダに押し込む。きちんと装着されている目安として、「カチッ」を音がなる。

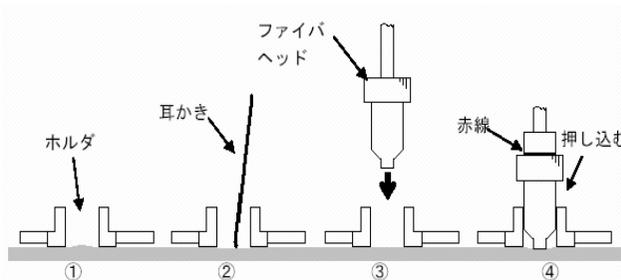


図7 装着の手順

2-2-6 自動調節

キャップを装着したら、自動調整ボタンを押す。図8は自動調節画面である。ホトマルチプライヤ負高圧値を適正值に自動設定するために実行される。また、キャップとファイバの感度と毛髪が入っていないか確認するためにも必要となる。ホトマルチプライヤ負高圧値は100Vから始まり、最大1000Vまで自動的に変化する。グリーンランプが点灯しない場合や電圧が1000Vを超えた場合は、再度キャップの付け直しを必要とする場合もある。この数値が大きいほど、感度を上げる必要がある、すなわち光が弱いことを示す。

グリーンランプがすべて点灯し、ホトマルチプライヤ負高圧値の値が大きくないほど、ノイズが少なくなるが、どこかランプが点灯しなかったチャンネルに対しては、実験自体には何の問題も生じないが、ノイズが大きくなる。自動調節が終われば、実験開始するために、スタンバイボタンを押すと、実験準備が完了する。

2-2-7 測定開始と保存

測定開始と同時にスタートボタンを押す。実験が完了すれば終了ボタンを押す。測定されたデータは、自動的に作成しておいたフォルダに保存される。保存されたデータのままでは、その後の解析を行えないため、データをテキスト(.txt)に置き換える作業を実験後一括して行う。データ名は、「被験者名_日付(年月日)_時間_順番」というように被験者登録したときの情報から自動に設定される。今回の実験にあたっては、特に変更することなくそのままにしておいた。「順番」というのは被験者登録をしてから、最初にスタートボタンを押した実験から順番に1とカウントされる。また新たに被験者登録をした際、新たに1からカウントされていく。図9はデータを保存する画面の一部である。



図8 自動調節画面

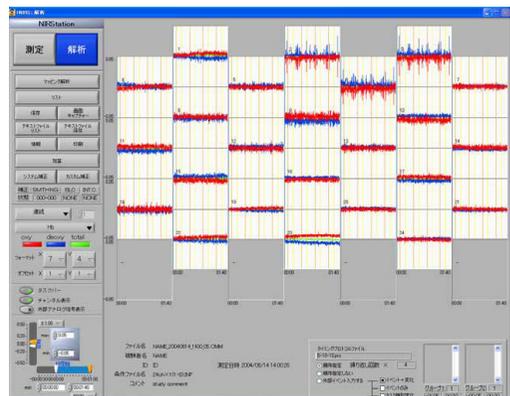


図9 保存画面

3. 実験

3-1 目的

本実験では、ケータイを利用した文字を入力する作業と紙に文字を書く 2 つの作業を脳活動において違いを島津製作所製 NIRS (OMM3000) 測定装置を用いて脳の反応を計測し比較検討することである。

3-2 被験者

被験者として、健常な大学生 (20 歳代の 3 名) に実験を協力してもらった。計測に先立って被験者にはインフォームドコンセントを得て実験を行っている。図 10 は、実験場所の写真である。手前は NIRS 測定装置、後方は測定時の課題を提示したディスプレイ装置である。



図 10 実験場所

3-3 レストとタスク時間の設定と問題

レスト・タスク時間の設定は、被験者全員がケータイ入力もしくは紙に解答を書けるよう十分な時間を設定するために予備実験を行い、タスクが完了するために最適な時間配分を設定を行った。

今回の被験者は大学生というケータイ作業には慣れていることを考慮した。図 11 に示すように、実験を始まる前に 10 秒のレストおき、タスクは 20 秒で、それを 3 回繰り返した。また、S は実験開始を示し、G は実験終了を示している。実験では、以下の 10 個前後の文字をケータイ入力または紙に記入してもらおう。3 つのタスクは、「いろは」、「逆いろは」、「漢字いろは」とした。

- (1) いろはにほへとちりぬるを
- (2) をるぬりちとへほにはろい
- (3) 色は匂へと散りぬるを

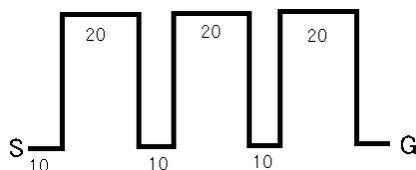


図 11 レストとタスク

3-4 実験手順

図 12 は実験概要フロー、図 13 は実験詳細フローを示す。実験は手書きの時も同様な手順で行うものとする。

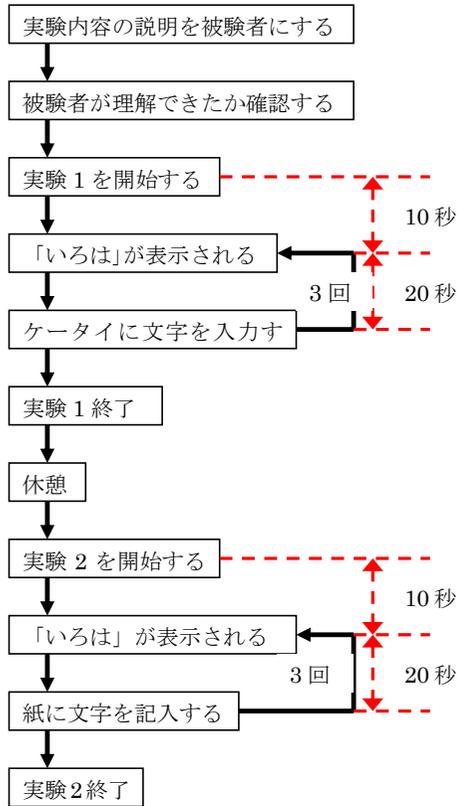


図 12 実験概要フロー

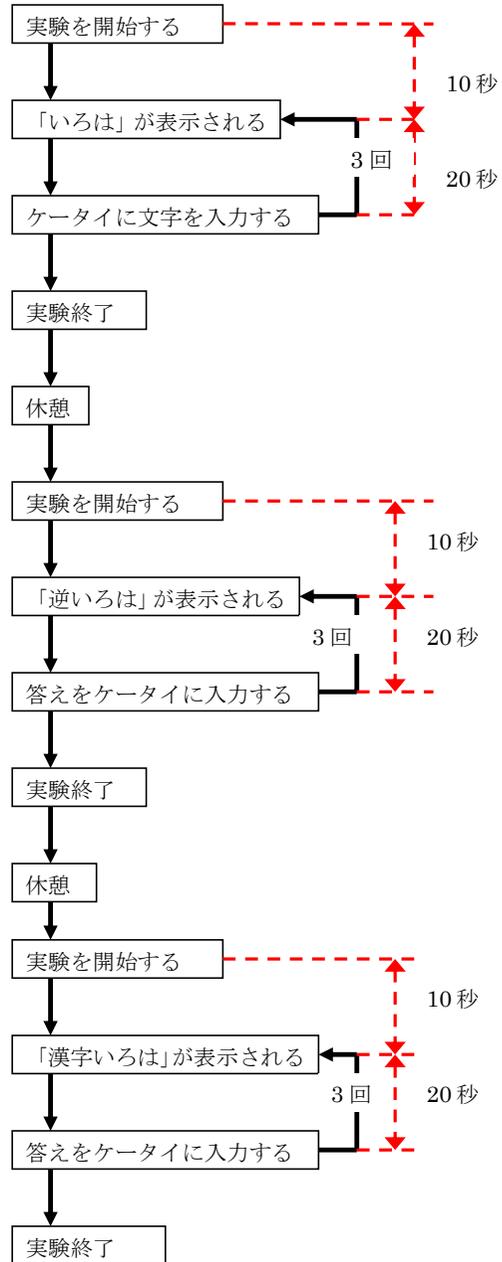


図 13 実験詳細フロー

3-5 測定チャンネル設定

実験に用いた送光・受光接線の配置を図 14 に示す。送光（赤）と受光（青）接線を各 12 本使い、その間の数値は脳活動のチャンネル番号を指し、34 本使用した。各接線との間隔は、3mm で、中心を 1 つあけて装着しているのので、11ch と 13ch の間隔は 6mm になる。

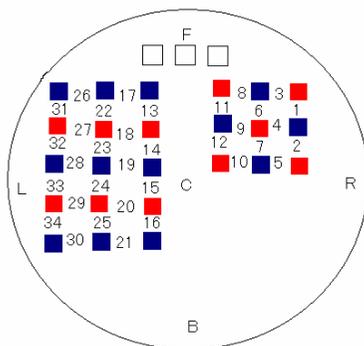


図 14 送光・受光接線の配置と検出信号位置

3-6 実験の様子

被験者は、前にあるパソコン画面を見て、文字が表示される時間に文字をケータイに入力するかまたは紙に手書きしてもらい、文字が表示されなくなったら、作業を止めてもらう。レスト（休憩）のときは、作業を行わない。被験者全員が、表示されている時間内に文字が入力または記入を完了した。また、ノイズを最大限少なくするため、頭をあまり動かさないようケータイを机の上に置いてもらう。実験の様子を図 15 に示す。図 16 は被験者がキャップを装着した後、被験者の頭頂部から撮った写真である。図 17 は被験者がキャップを装着した後、被験者の右側から撮った写真である。



図 15 実験風景

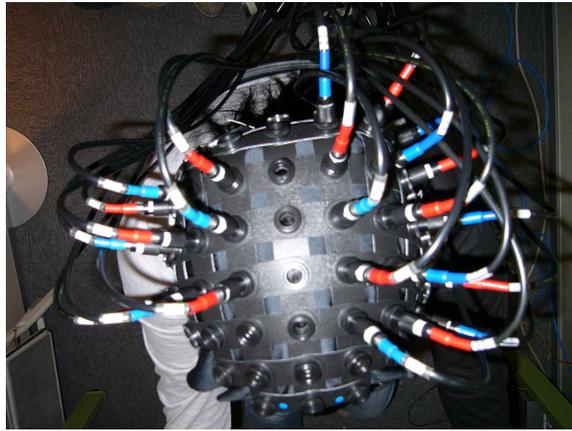


図 16 キャップ装着 1 (頭頂部)



図 17 キャップ装着 2 (右側頭部右)

4. 結果

4-1 実験結果

実験データをエクセルデータ解析 5)を用いてグラフ化を行った結果を図 18 ケータイ入力時の時間波形 (上から 3.6.8.22.26ch) を示す。実験のチャンネル配置では頭の中心部を除いたので、頭の中心部にノイズが大きいとは言いきれない。時間波形と補正したグラフからは、頭の前方のチャンネルは、酸化ヘモグロビンも還元ヘモグロビンも増加しており、全ヘモグロビンの数値がプラスになっている。チャンネルでいえば、3、6、8、17、22、26ch が他のチャンネルに比べ、全ヘモグロビンの数値が酸化ヘモグロビンと還元ヘモグロビンの数値が合わさって大きくなっていることが分かる。

手書き作業とケータイ文字入力 of 脳活動の比較



図 18 ケータイ入力時の時間波形（上から 3.6.8.22.26ch）

4-2 時間波形からみたケータイ時の文字入力の比較

ケータイ入力時の「いろは」、「逆いろは」、「漢字いろは」を時間波形から比較する。図 19 はケータイ入力「いろは」、図 20 はケータイ入力「逆いろは」、図 21 ケータイ入力「漢字いろは」のグラフは 1 ch の時間波形の結果の一部を示す。

ケータイから文字を入力するタスク「いろは」、「逆いろは」、「漢字いろは」には違いが見られる。「いろは」入力時と「逆いろは」入力時の比較からは文字入力と言う単純作業ではなく、より複雑な脳活動を行っている。さらに「漢字いろは」では文字入力後に漢字変換の選択などの文字入力のタスクによる違いがあると考えられる。

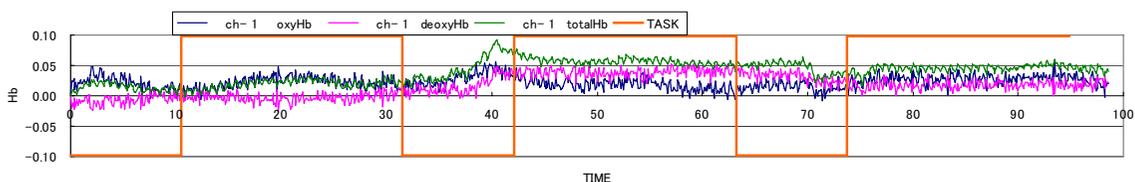


図 19 ケータイ入力「いろは」

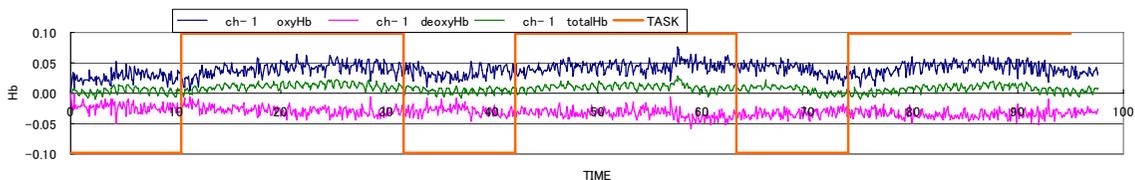


図 20 ケータイ入力「逆いろは」

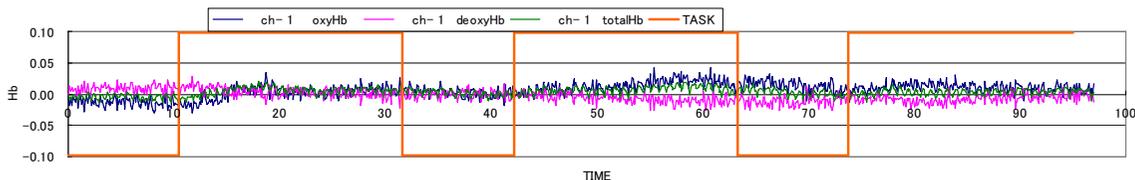


図 21 ケータイ入力「漢字いろは」

4-3 時間波形からみたケータイ入力と手書きの比較

「いろはにほへとちりぬるを」を、ケータイ画面に手を使って文字を入力するときと紙に鉛筆を持ち文字を記入するときとで比較してみる。図 22 はケータイ入力「いろは」、図 23 は手書き「いろは」のグラフは 1 ch の時間波形の結果の一部を示す。

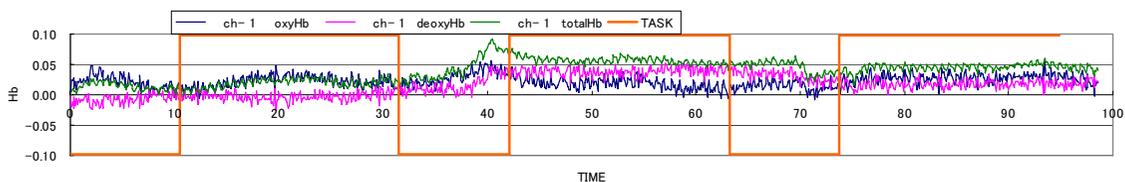


図 22 ケータイ入力「いろは」

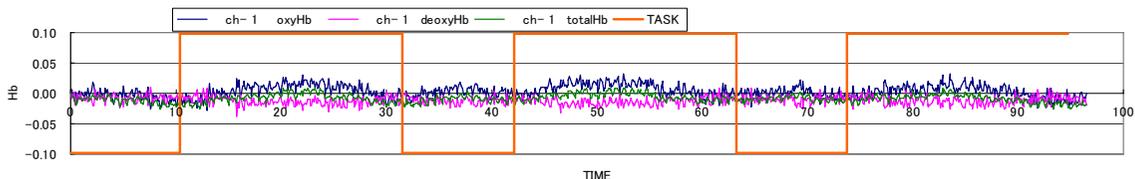


図 23 手書き「いろは」

4-4 NIRS 軌道からみたケータイ時の文字入力の比較

時間波形よりも、より詳しく解析を行う上で、NIRS 軌道グラフから作成した。NIRS データをもとに NIRS 軌道のグラフを作成した結果を図 24 は NIRS 軌道 3ch (左上)、6ch (右上)、8ch (左下)、22ch (右下)、図 25 は NIRS 軌道 5ch (左)、10ch (右) にケータイで「いろは」を入力したときの NIRS 軌道を示す。

ケータイに入力している 20 秒間を 2 つに分け、最初の 10 秒を◆青、後の 10 秒を■ピンクで表示している。時間波形で全ヘモグロビンの数値が大きかった前方のチャンネルを見してみる。その他のチャンネルの NIRS 軌道も表示し比較する。

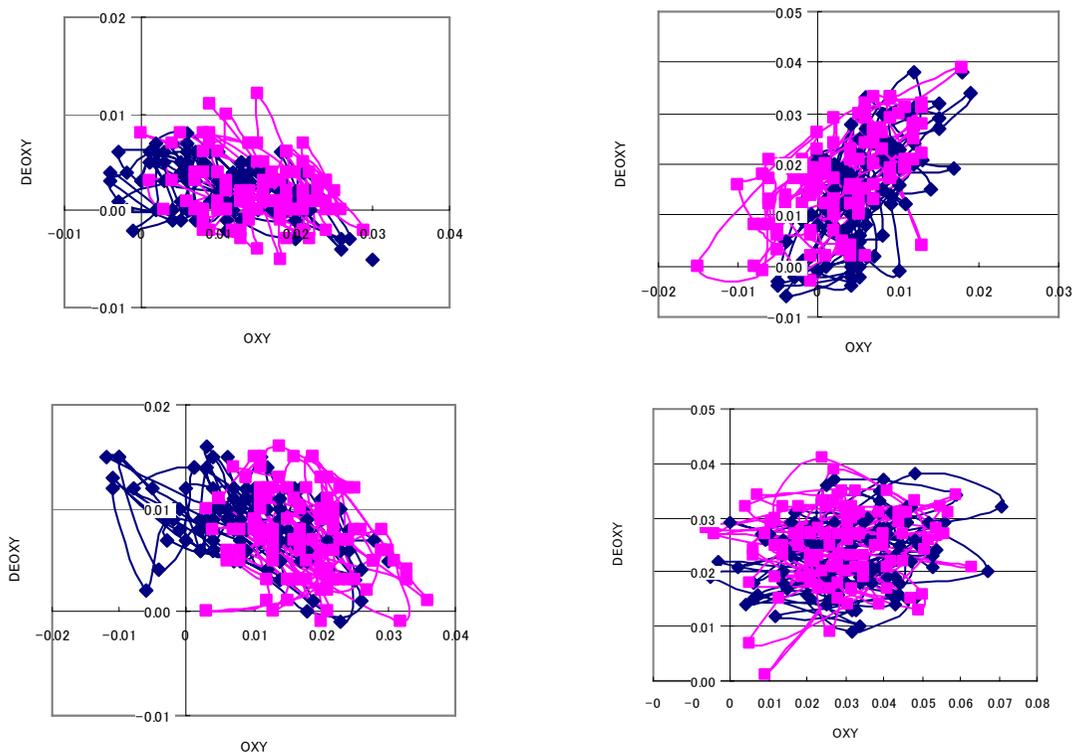


図 24 NIRS 軌道 3ch (左上)、6ch (右上)、8ch (左下)、22ch (右下)

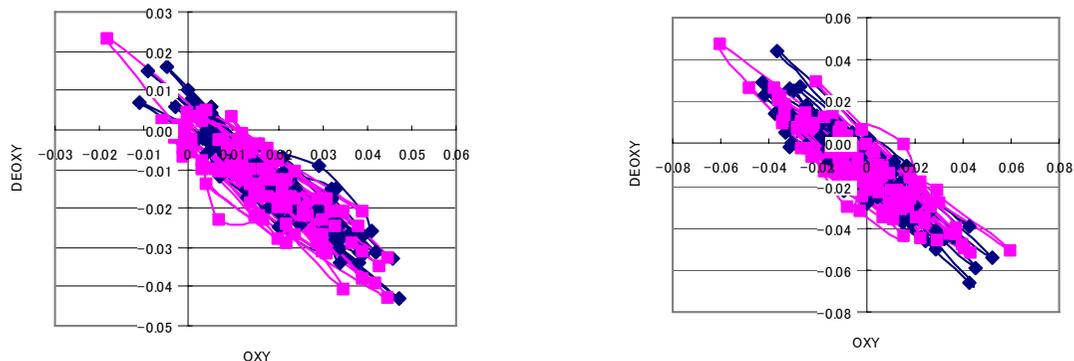


図 25 NIRS 軌道 5ch (左)、10ch (右)

比較からは、5、10ch などのグラフは、-1 の軌道を描いており、あまり脳は活発に働いていないのに対し、3、6、8、22、26ch のグラフは、ループ型の軌道を描いている。ちょうど、前頭葉の位置にチャンネルが配置されており、後頭葉、側頭葉、頭頂葉に比べて活発に働いていることが理解できる。

ケータイ入力時での「いろは」、「逆いろは」、「漢字いろは」を NIRS 軌道から比較する。図 26 は NIRS 軌道 1ch (左)、8ch (右)、図 27 は、逆いろは、NIRS 軌道 1ch (左)、8ch (右)、図 28 は漢字いろは NIRS 軌道 1ch (左)、8ch (右) の 1ch を比較すると 3 つとも形は似ているが、「逆いろは」は酸化ヘモグロビン値と還元ヘモグロビン値の数値が、他の「いろは」と「漢字いろは」と比較してみても大きい。「いろはにはへとちりぬるを」という正順列の文字に比べて、「をるぬりちとへほにはろい」という逆順列は入力する時間が多少かかり、慣れない作業を行ったため、ヘモグロビンが少し活発になったのではないかと思う。また、漢字に変換する作業は、今回は「色」、「匂」、「散」の 3 回であった。被験者は日頃からケータイの入力作業に慣れているので、あまり負荷を感じなかったため、ひらがなで「いろは」を入力するのとあまり変わらない。

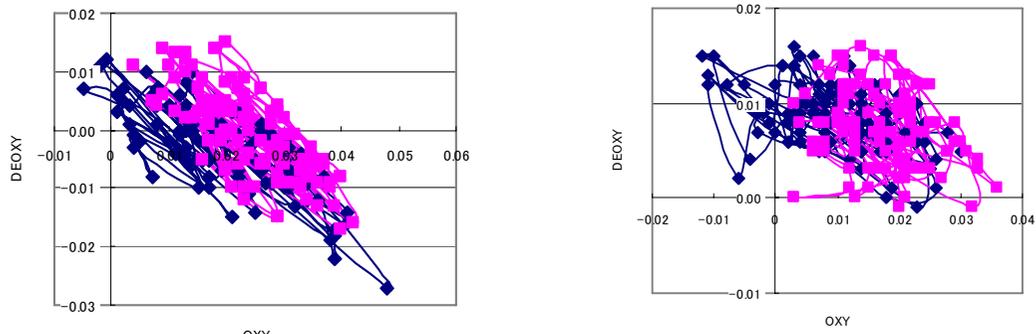


図 26 「いろは」 NIRS 軌道 1ch (左)、8ch (右)

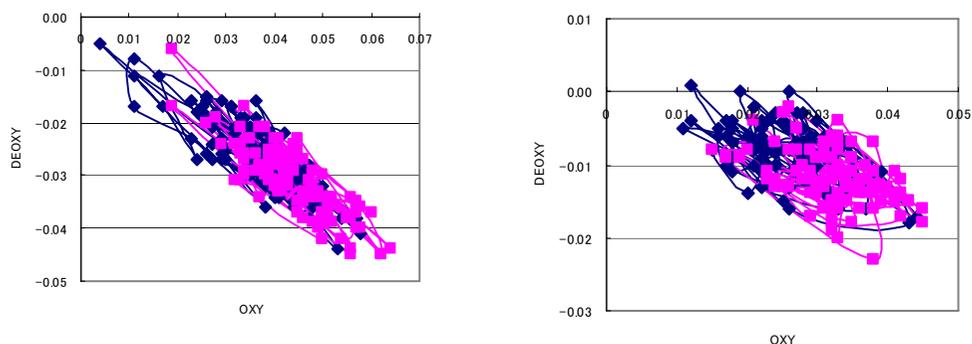


図 27 「逆いろは」 NIRS 軌道 1ch (左)、8ch (右)

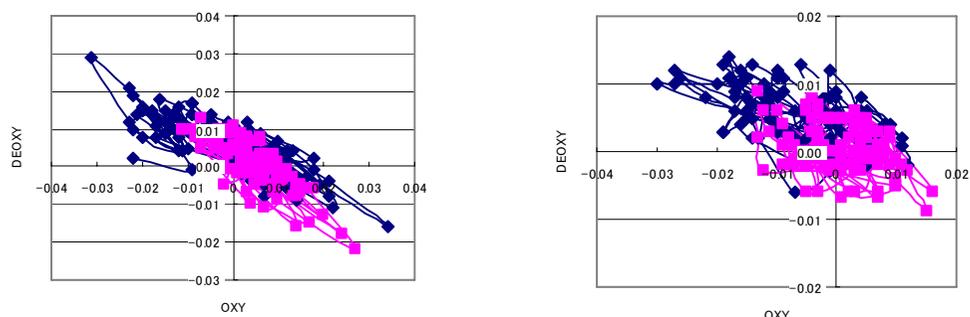


図 28 「漢字いろは」 NIRS 軌道 1ch (左)、8ch (右)

4-5 NIRS 軌道からみたケータイ入力と手書きの比較

「をるぬりちとへほにはろい」を、ケータイ画面に手を使って文字を入力するときと紙に鉛筆を持ち文字を記入するときとで比較する。図 29 は NIRS 軌道 17ch ケータイ入力(左)、手書き (右)、図 30 は NIRS 軌道 26ch ケータイ入力 (左)、手書き (右) のケータイ入力と手書きとを比較したところ、大きな違いは見られなかった。しかし、17、26ch などのチャンネルで、多少の違いが見られた。左のケータイ入力時の NIRS 軌道と右の手書き時の NIRS 軌道の形が違う。ケータイ入力は、机に肘を被験者が苦痛を思わない程度で固定してもらったので、ケータイのボタンを指で動かして打つ程度の作業に対し、手書きの方は手を動かす範囲が広がった。

ケータイで文字を入力することと紙に文字を記入することは作業が異なる。同じパソコン画面に表示されている文字でも、ケータイと紙とで文字をそれぞれ入力または手書きする作業は違う。ケータイはボタンを押すという単純な作業で、手書きは手を動かす作業である。手書きのほうが、負荷がかかったので、NIRS 軌道は活性化したが、前頭葉のチャンネル以外のチャンネルに関してあまり差は見られなかった。

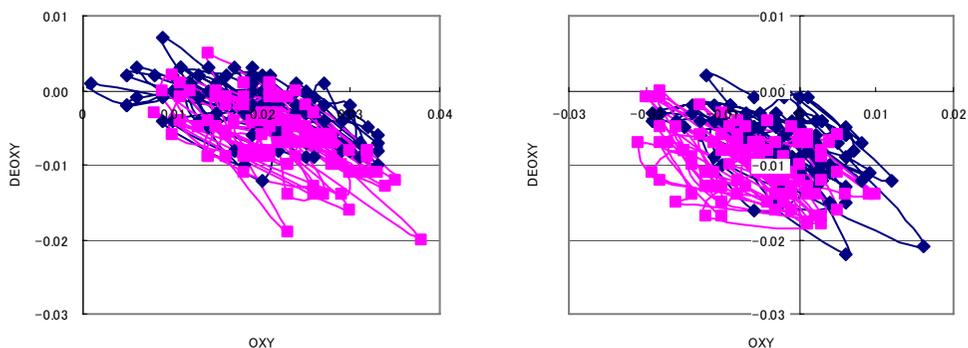


図 29 NIRS 軌道 17ch ケータイ入力 (左)、手書き (右)

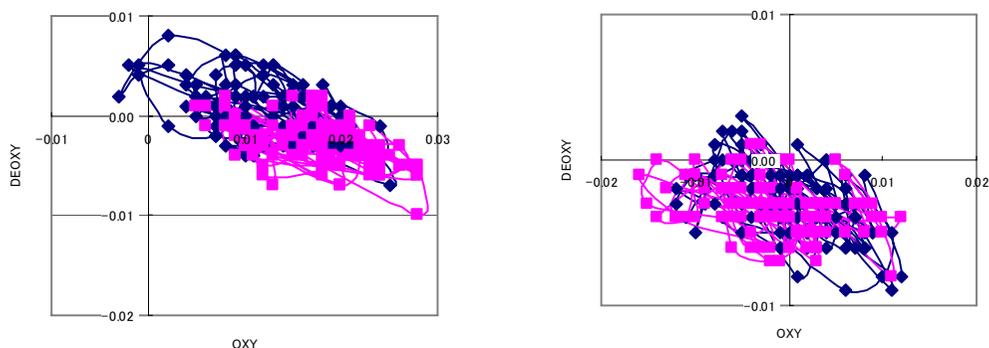


図 30 NIRS 軌道 26ch ケータイ入力 (左)、手書き (右)

5. 考察

今回の実験では、ケータイで文字を入力する作業は、紙に文字を記入するよりも被験者にとってはストレスが少ない作業であることが示された。被験者が日頃からケータイを使い慣れている。また、ケータイの利用においても脳を働かせることができることが示された。

ケータイで文字を入力する作業自は、若者たちにとっては普段から慣れている作業なので比較的苦になることはない。しかし、ケータイに対して苦手意識を持っている人、例えばお年寄りの方などには、負荷が大きい作業は控えるなど、臨機応変に対応することが必要である。

今回の実験では行わなかったが、音読することも脳を活性化させる。音読とは文字通り音にして文章を読むことで、黙読より目で見えて口に出し耳で聞くという脳にとっては二重のはたらきをすることで、脳はさらに鍛えられ、記憶にも残りよりよい勉強法のひとつである。

6. おわりに

ケータイをはじめとするモバイル機器の利便性はますます身の回りにあふれており、会社や病院などさまざまな場所で、書くという作業からパソコンに文字を入力する作業に入れ替わっている。ケータイは、さまざまな可能性を秘めているが、使い方次第で変わってしまう。ケータイなどモバイル機器を使った授業などにおいては学生に対して勉強するという意識のもと行う必要もある。

さらに、医療や福祉の現場においてもケータイを使った試みが行われている。例えば、在宅医療にケータイを活用したり、ケータイで血糖値を測定したりしている。様々な場所でのケータイ利用が期待されている。遠隔医療の分野においてもモバイル機器を活用した研究が進められている。例えば、携帯電話の最新事情と遠隔医療への応用の可能性 6) や携帯電話を活用した Java アプリケーションによる生態情報モニタリングシステムの開発 7) などがある。さらに、モバイル機器に代表されるケータイを利用した健康管理システムや病院予約システムなど医療経営の効率化にモバイル機器の活用が進められている。

謝辞

本研究の NIRS 計測は 2006 年から 2008 年 3 月まで独立行政法人関西先進研究センターが実施したオープンラボの機会を得ることによって行うことが出来ました。さらに、実験データ収集、処理に御協力いただいた被験者の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 田村博・大森正子・丁井雅美 (2007) 「NIRS 応答波形の 2 次元軌道を用いた大脳活動の理解」『モバイル学会研究報告集』 Vol.3、pp. 9-14.
- 2) 大森正子、田村博、丁井雅美 (2006) 「情報操作における「苦手意識」についての近赤外線計測を用いた検討」『カーナビ・ケータイの利用性と人間工学』 pp.31-34.
- 3) 田村博・大森正子・丁井雅美 (2006) 「NIRS 計測を用いた誤り訂正作業時の脳内反応」『カーナビ・ケータイの利用性と人間工学』 pp.35-38.
- 4) 大森正子・宮尾克・田村博 (2005) 「タイピングを巡る脳機能研究」『モバイル学会研究報告集』 Vol.2、pp17-20.
- 5) 田村博(2007) 「エクセルを用いた NIRS データ解析」『ヒューマンインタフェース 2007 論文集』 pp.869-874.
- 6) 木暮祐一、松岡央樹、木内陽介(2006) 「携帯電話の最新事情と遠隔医療への応用の可能性」『日本遠隔医療学会雑誌』 Vol.2(1)、pp.7-13.
- 7) 木暮祐一、松岡央樹、芥川正武 他(2006) 「携帯電話を活用した Java アプリケーションによる生態情報モニタリングシステムの開発」『日本遠隔医療学会雑誌』 Vol.2(2)、pp.71-75.