

仮名漢字変換入力における認知的負荷について： —fNIRSによる脳血流計測を中心に—

梁 志 鋭

1. はじめに

従来、研究の手段が限られていることが原因となり、書字活動に関する研究は文字の読みの研究より比較的少ないとされている(Cook and Basetti, 2005; 川原・玉岡・中条・松見, 2001)。一方、近年、パソコンなどの電子メディアの普及により、言語表記の産出方法は手書きからパソコンや携帯電話のキーデバイスに変化してきている。Chikamatsu(2005)によると、最も一般的に使われている日本語入力法は、仮名漢字変換機能が用いられている。そのため、日本語入力における言語情報処理はこれまでの書字活動と異なる様相を呈し、産出のみならず、漢字に対する受容的な認識力も重要であると考えられている。しかし、こういった仮名漢字変換における言語情報処理・認知過程に関する実証研究はまだ多くはない。ところで、近年、脳機能測定技術の進歩により、脳の活動がある程度直接観察できるようになった。特に、脳機能測定法の中で、大脳皮質の血流量の変化を測定することができる機能的近赤外分光法(fNIRS: functional near-infrared spectroscopy)による脳血流計測法は実験参加者を比較的拘束せずに日常的な環境で実験を行うことができるため、書字、パソコンなどの電子メディアによる文字の産出活動における言語情報処理過程を観察するのに有効的な手段とされている(岩田, 2005)。

また、日本語教育の分野では、日本語学習者を対象とした日本語入力に関して、入力における誤入力の原因分析や学習者向けの日本語変換辞書と日本語入力法の開発に関する研究が発表されており(張他, 2005; 畑佐・中澤, 2002; 北川, 2007; 土屋, 2000; 土屋, 2003; 土屋・杉田, 2008)、今後も注目していくべき課題で

あるとされている(北川, 2007)。しかし、ビデオによる入力過程の観察や誤入力の結果から間接的に仮名漢字変換における言語情報処理過程を考察する研究はあるものの(土屋, 2000;土屋, 2003;土屋・杉田, 2008)、直接に脳の活動を観察することによる仮名漢字変換に関する研究はまだない。そこで、本研究は、fNIRSによる脳血流計測法を用い、日本語を入力する時の脳内の言語情報処理過程について調べることにより、日本語入力と日本語教育といった分野へ応用することを試みる。

2. 先行研究

2.1 fNIRS による脳血流計測法

比較的低侵襲である脳機能測定には、電磁気計測法と血流計測法の 2 つがある。血流計測法には、ポジトロン画像法(PET: positron emission tomography)と機能的磁気共鳴画像法(fMRI: functional magnetic resonance imaging)及び本研究で用いる fNIRS がある。

fNIRS による脳血流計測の原理は大略次のとおりである。人間は何らかの認知活動や運動を行う際に、それぞれに対応する脳内領域の神経細胞が活動する。神経細胞はエネルギーを消費するため、酸素を要求する。そこで、酸素を供給するために、活動した神経細胞へ多くの血液が流れる。脳内の酸素化ヘモグロビンから酸素が放出され、脱酸素化ヘモグロビンとなる。このとき、酸素の消費による酸素の欠如状態を避けるため、血流量が増加し、酸素化ヘモグロビンの濃度が増える一方で、脱酸素化ヘモグロビンの濃度が低下する(武田, 2003)。一方、近赤外光は血液中のヘモグロビンの酸素化状況によって吸収される量が異なる特徴をもっている。fNIRS による脳血流計測法はこの特徴を利用し、図 1 のように、近赤外線を放出する光ファイバを、専用のホルダ(図 2)を通し、実験参加者の頭皮から約 25~30mm の深さにある大脳皮質に到達させる(小泉・牧・山本, 2004)。そこで、入射された近赤外線が散乱し吸収されながら、一部が頭皮上に反射され、送光部から約 3 センチ離れている受光部の光ファイバで検出される。検出した光は、電気信号に変換され、酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの変化量が算出され、脳血流量の変化が測定できるようになる。

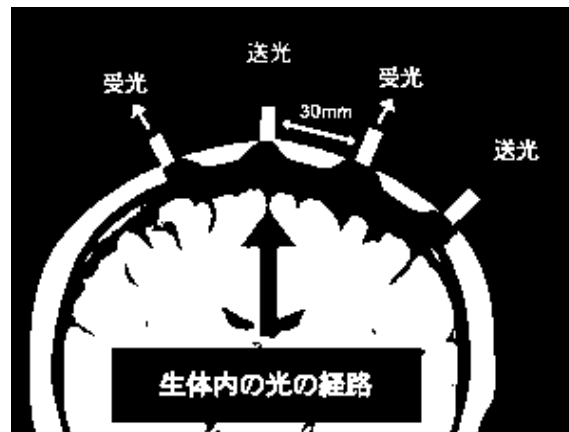


図 1 測定の原理

(<http://www.med.shimadzu.co.jp/products/om/qa01.html#02> より抜粋)



図 2 光ファイバを頭に装着する際に使用されるホルダ¹

(<http://www.med.shimadzu.co.jp/products/om/qa01.html#02> より抜粋)

2.2 脳血流と認知的負荷の関係

脳の血流量は脳の活動により変化するとされている(Roy and Sherrington, 1890)。Posner and Rothbart(2007)では、PET を用いた実験結果に基づき、言語活動を行う場合、言語課題に注意を向けると、言語情報処理に関わる脳内領域の血流量が増加すると主張している。fNIRS による脳血流計測法を用いた研究では、Oishi and Kinoshita(2003)が、英語母語話者と日本語英語学習者を対象として、母語の処理より難しいとされる第 2 言語の処理で、母語の処理より言語野での血流量が多く増加したという実験結果を報告している。また、大石(2006)でも、中級の英語学習者が英語の熟達度の上昇につれ、言語課題に向ける注意および言語情報

¹ 図 2 でのホルダは島津製作所製の専用ホルダである。

処理に消費する認知資源の量が減少し、言語野の血流量も減ると結論付けている。木下・大石(2007)はこのような先行研究に基づき、脳内の血流量を、脳内に必要とされる認知資源の量の指標として解釈している。本研究でも、この定義に基づき、脳内の血流量を「認知的負荷」の大きさの指標として用いることにする。

2.3 日本語入力における仮名漢字変換と認知的負荷

電子メディアに使用されている仮名漢字変換機能が付与された日本語入力システムの前身は 1978 年に東芝社によって開発されたワード・プロセッサ JW-10 である(山田, 1985)。JW-10 は仮名漢字変換入力式がはじめて実用化されたワープロであり、それ以来、仮名漢字変換入力方式は入力方法の主流となっている。

しかしながら、主流とはいえ、仮名漢字変換入力は入力法として様々な時間と労力がかかると見なされ、入力作業における効率の向上の観点から必ずしも効率的ではないと考えられている。中山・黒須(1985)は仮名漢字変換入力方式において、変換結果の第1候補が正解でなかった場合²に、第2位以下の候補を選択する作業を多変換候補表示選択と呼び、日本語入力作業にかかる時間の1つの要素としている。また、今村・宗森・長澤(1993)は第2候補以下の候補を次候補と呼び、仮名漢字変換を行う際に次候補の選択が入力の効率に影響するとし、表示方法と入力効率の関係について調べている。

岡留・小野・山田(1986)によると、仮名漢字変換入力方式は文字列をコード化し、それに相当するキーを打ち、表出するまでのタイプ作業と、そのタイプ作業が終わるまでの脳内の言語情報処理という2つの作業から成り立っているとしている。その中で、言語情報処理においては、入力の方法の選択(例:「得」という字を入力したい場合、「とく」と読むか、それとも「え」と読むか)と、次候補に表示される同音異義語や文字列を視覚的に認識し正しい選択を行うプロセスが含まれると考えられている。脳科学の観点からみると、岡留らは、タイプ作業は視空間情報処理が優れる右脳優位であるのに対し、言語情報は言語脳とされる左脳で主に処理されるとしている。また、タイプ作業の効率の点からは、仮名漢字変換入力における言語の形態、音韻と意味情報の処理や選択がタイプ作業に干渉を起こし、心理的負担³

² 入力したい文字列に正しく変換できなかったことを指す。

³ 岡留・小野・山田(1986)で用いられる表現である。

を増大させている。

以上の先行研究は、日本語入力およびタイプ作業の効率という観点から論じるものであり、仮名漢字変換にかかる時間や労力や心理的負担といった概念も本稿での認知的負荷の定義とは異なるが、これらの先行研究の知見によれば、仮名漢字変換入力においては、手書きといった文字の産出活動と異なり、入力方法の選択による言語情報の想起・連想力と、次候補の選択による文字の認識力が要求され、脳内の認知資源が消費されると考えられる。

3. 研究課題

これまで述べてきた状況の中で、本研究では、fNIRS による脳血流計測装置を用い、仮名漢字変換における次候補の選択による認知的負荷を調べる。上述したように、次候補の選択においては変換したい漢字を視覚的に認識し、漢字情報を処理する必要があるとされているため、処理する候補の数と見付けやすさにより次候補の選択における難易度が異なると想定される。また、日本語母語話者と日本語学習者では、Oishi and Kinoshita(2003)と大石(2006)によれば、脳内に消費する認知資源の量および脳内血流量が異なる可能性もある。

従って、本研究は以下の研究課題を設定する。

- (1) 次候補の選択において処理する候補の数と見付けやすさにより、脳内の血流量は異なるか
- (2) 日本語母語話者の場合と日本語学習者はどのように違うか

本研究では、分析対象となる脳内領域としては左脳の角回、縁上回を含む頭頂連合野である。本研究ですでに数多くの研究者が指摘してきた通り、左前頭、左側頭と左頭頂の脳内領域が言語情報処理に関わるとされている(例: Bolger *et al.*, 2005; Iwata, 1984; Jobard *et al.*, 2003; 酒井, 2002; 山鳥, 1998)。酒井(2002)によると、角回と縁上回が言語の中核として、言語の産出や文法の処理に関わるブローカ野と意味情報の理解に関わるウェルニッケ野の間を中継する役割と、文字の視覚形態情報を受け取る役割をしていると考えられている。また、山鳥

(1998)も頭頂連合野にある角回を「連合野の連合野」とし、他の言語のような高次の情報処理に関わる脳内領域と相互連絡を保っていると主張している。一方、失書症⁴の研究より、大槻(2007)は書字において、角回が他の脳内領域からの文字の形態情報を一時把持し、さらに頭頂葉の他の領域に文字の形態情報を送り、書字運動を遂行すると考えている。これらの先行研究の知見に基づき、角回・縁上回を含む頭頂連合野が次候補の選択における言語情報処理に関わると予想される。

4. 実験方法

4.1 実験参加者

実験参加者は日本語母語話者6名、中国語を母語とする日本語学習者6名で、すべて右利きである。日本語母語話者の内訳は、修士卒が1人、学部在学中の学生が1人、大学院在学院の学生4人であり、日本語学習者の内訳は在学中の留学生6人である。なお、すべての学習者は日本語能力試験1級の保持者である。

4.2 実験の手順

実験の手順は以下の通りである。

- (1) 実験参加者に刺激呈示用のパソコン、ディスプレイ、キーボードの機材が設置してある机の前に座ってもらう。
- (2) 練習課題終了後、脳血流計測装置を実験参加者の頭に装着し、実験参加者に実験課題を行ってもらう。
- (3) 実験課題終了後、すぐに脳血流計測装置を外す。
- (4) 最後にインタビューを実施する。

4.3 実験の課題と材料

実験の課題は、呈示される漢字の音読みにそって漢字を変換し、次候補リスト

⁴ 書くことと、文字と文章を書いて表出することに困難を抱える障害である。

から選択し漢字をディスプレイにキーボード入力で表出するということである。実験の材料として用いるすべての刺激語は、JIS 第 1 水準でかつ日本語能力試験 2 級レベルにあたる漢字⁵である。上述した研究課題に対し、呈示される刺激語が次候補の表示に出現する順番により統制されている。呈示される刺激語を見付けやすい条件(以下は「音読み E 条件」と、見付けにくい条件(以下は「音読み D 条件」という 2 つの条件に分けられている。1 つの条件においては、合計 20 個の刺激語があり、ランダムに呈示される。実験参加者は、刺激呈示用のノートパソコン⁶に接続された外付けのディスプレイ⁷の真ん中に呈示された漢字一文字(図 3)をできるだけ早く入力するように指示された。1 つの刺激語の入力を終え指定された外付けのキーボードのキーを押すと、次の刺激語が呈示される。図 4 は入力用のノートパソコン⁸のディスプレイに表示される画面である。

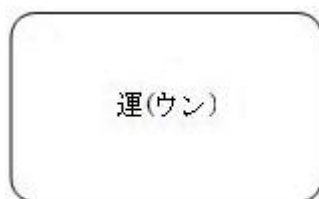


図 3 刺激呈示用のディスプレイに呈示される刺激の様子
(漢字の音読みを表わすふりがなが後ろに付く)

⁵ 2007 年に出版された日本語能力試験出題基準【改訂版】(著作・編集:国際交流基金・日本国際教育支援協会)に基づいた。参考文献を参照されたい。
⁶ NEC(VersaPro)の VY16M1RF-X を使用した。OS は Windows XP(SP2)である。
⁷ BenQ 社の G900D を使用した。
⁸ Sony 社の VGN-TZ90S を使用した。OS は Windows Vista Home Premium(SP1)である。また、入力は VGN-TZ90S に接続された外付けのキーボード(Sanwa Supply 社の SKB-SL06W、JIS 配列)を使用した。

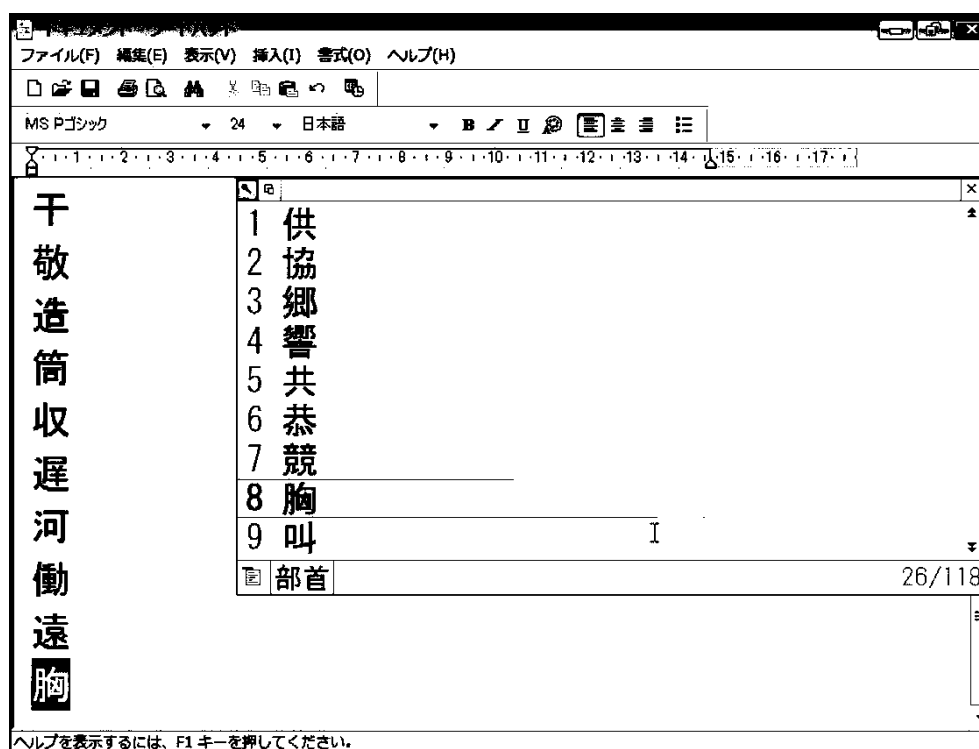


図 4 入力用のノートパソコンのディスプレイに表示される画面

また、2つの条件で用いる刺激語の統制基準は以下のようなものである。

- (1) すべての刺激語は第1候補が正解でないように工夫されている。実験参加者は、まず、刺激語の読みをローマ字で仮名入力し、キーボードの ENTER キーを2回押すと、次候補を選択する画面になる。次候補は、図3のように9個ごとに表示される。次候補リストに1番目から9番目までの次候補が第1回目の表示に、10番目から18番目までの選択が2回目の表示に出現する。
- (2) 音読み E 条件の刺激の内訳は、14個の刺激語が次候補の1回目と2回目の表示で、4個が3回目と4回目の表示⁹で、2個が5回目以上(最大8回目まで)の表示¹⁰でそれぞれ出現するようになっている。
- (3) 音読み D 条件の刺激の内訳は、2個の刺激語が次候補の1回目と2回目の

⁹ 19番目から27番目までの次候補は3回目の表示に出現する。28番目から36番目までの次候補は4回目表示に出現する。

¹⁰ 37番目から45番目までの次候補、46番目から54番目までの次候補、55番目から63番目までの次候補、64番目から72番目までの次候補はそれぞれ5回目、6回目、7回目と8回目の表示に出現する。

表示で4個が3回目と4回目の表示で、14個が5回目以上(最大8回目まで)の表示でそれぞれ出現するようになっている。

両条件の前後に45秒のレスト(休憩)時間が入っている。各条件での課題は以下のような流れで行った(図5)。

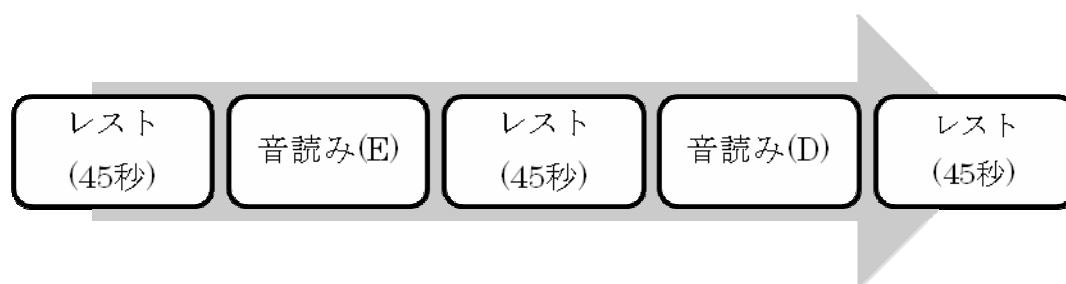


図5 実験課題の流れ

4.4 日本語入力システムと実験で使用されたソフト

日本語入力ソフトは、JustSystems社のATOK 2007を使用し、入力支援、校正の機能はすべて起動させなかった。刺激呈示はCedrus社のSuperlab Proを用いた。入力される文字はMicrosoft社のWindows Vista Business SP1に付属しているワードパッドを使用した。また、ワードパッドで入力する過程はCamStudioというフリーウェアで動画ファイルとして録画した。実験データの分析用のための統計ソフトはSPSS 13.0を用いた。

4.5 脳血流計測装置

実験で用いられた脳血流計測装置は島津製作社のOMM-3000である。OMM-3000は3波長の近赤外光を用い、酸素化・脱酸素化ヘモグロビンを変型Beer-Lambert法により計測する。変型Beer-Lambert法によるヘモグロビンの濃度変化の測定は光路長因子(DPF: differential pathlength factor)¹¹に依存し、また、光路長が人と脳の部位により異なるとされるため、OMM-3000で得られる血流デ

¹¹ 光路長は光路の距離である。fNIRSによる脳血流計測においては、光が脳の組織の中で直進せず、散乱しながら進むため、光路長が近赤外光の照射・検出点間の直線距離より長くなる。光路長因子とはこういった光路長と近赤外光の照射・検出点間の距離の比である(福田他, 2004)。

ータは、ヘモグロビンの絶対値ではなく、相対的な濃度変化の値である(福田他, 2004; 星, 2006)。専用ホルダ(図 2)を通し送光する光ファイバと受光する光ファイバが約 3 センチの間隔で実験参加者の頭皮に装着される。また、ヘモグロビンおよび血流データは 0.13 秒毎に計測される。

4.6 インタビュー

実験後、ほとんど間を置かずには実験参加者に語学歴などの個人情報、実験課題についてインタビューした。

4.7 分析方法

血流データの値は OMM-3000 で計測した酸素化ヘモグロビンの濃度変化の値である。分析対象は、両条件における左脳の角回・縁上回を含む頭頂連合野にあたる脳内領域の血流量を測定する 4 つのチャンネルのデータを対象としている。実験参加者個人の 2 つの条件における各チャンネルで計測した酸素化ヘモグロビンの濃度変化の値をデータの対応がある t 検定で比較した。そして、0.1% の有意水準で、音読み条件 D における血流の増加量が音読み条件 E の場合より大きいチャンネルの数と、音読み条件 D における血流の増加量が少ないチャンネルの数と、両条件に有意差がないチャンネルの数を算出した。この結果を母語の違いで差があるかどうかを χ^2 検定で検証した。

また、先に述べたように、fNIRS による脳血流計測において、求められたヘモグロビンの濃度変化が光路長因子に依存し相対値であるため、絶対値として直接に複数の実験参加者間やチャンネル間のデータを比較することは原理的に問題点が残されているが(福田他, 2004; 星, 2006)、福田他(2004)は、こういった光路長の個人差やチャンネル間差に関する報告を認めていながらも、計測データの相対性の問題に関して、実際の計測では大きな問題となることが少ないとし、同一の実験参加者から連続的に記録したデータの特徴を検討するという方法と組み合わせれば、有用なデータとなりうることも示唆している。

本研究では、 χ^2 検定は母語と条件の関係を直接統計検定で調べることはできるが、条件間の差、即ち、音読み D 条件と音読み E 条件が頭頂連合野における血流の増加量の差を統計検定で比較することはできない。そこで、上述した福田らの

主張を根拠に、個人の連続的に記録したデータの特徴に基づき行われた χ^2 検定の他に、2つの条件における血流量の平均の差を、ウィルコクソン符号付順位和両側検定で比較した。

各実験参加者の頭の大きさや形が異なり、さらに複数のチャンネル測定の場合に、各実験参加者の頭皮に装着される複数の光ファイバの位置も厳密には人により異なると考えられるため、両条件間の比較では、頭頂連合野にあたる4つのチャンネルのデータから計算された酸素化ヘモグロビンの濃度変化の平均値を用いた。

5. 結果

音読み条件 D における血流の増加量が音読み E 条件の場合より多いチャンネルの数、音読み条件 D における血流の増加量が少ないチャンネルの数、および、両条件に有意差がないチャンネルの数はそれぞれ表 1 の通りである。

表 1

| | 音読み D > 音読み E ¹² | 音読み D < 音読み E ¹³ | 有意差なし | Total |
|-------|-----------------------------|-----------------------------|-------|-------|
| 学習者 | 16 | 5 | 3 | 24 |
| 母語話者 | 14 | 5 | 5 | 24 |
| Total | 30 | 10 | 8 | 48 |

表 1 の結果に基づき、 χ^2 検定を行った結果、人数の偏りは有意でなかった ($\chi^2(2)=0.633, n.s.$)。即ち、両実験群の間には差がないという結果となった。

また、ウィルコクソン符号付順位和両側検定による条件間の平均値の比較の結果は図 6 の通りである。

¹² 音読み条件 D における血流増加量が音読み E 条件の場合より多いことを指す。

¹³ 音読み条件 D における血流増加量が音読み E 条件の場合より少ないことを指す。

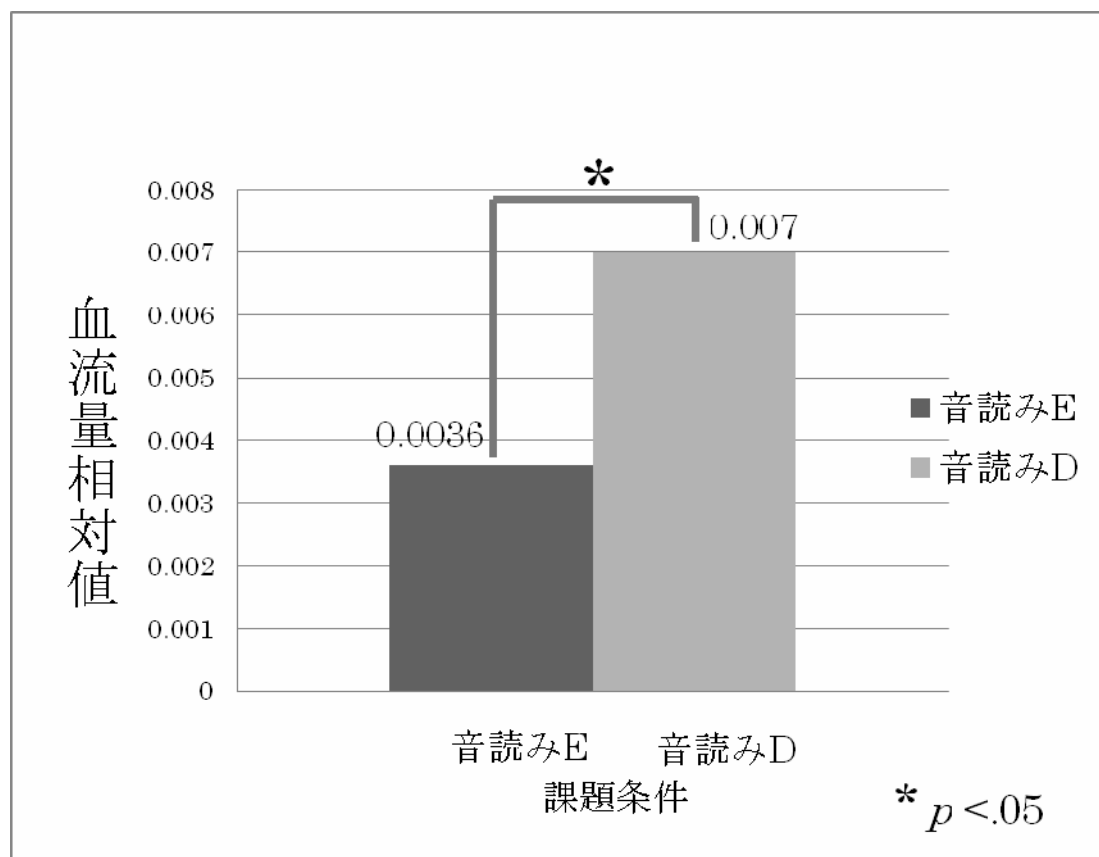


図 6 両条件における脳血流量の平均値の差の比較

図 6 より、分析対象となる脳内領域において、音読み D 条件における脳血流量の増加は音読み E 条件より多いという結果となった。¹⁴

6. 考察

研究課題(1)に関しては、表 1 の結果から、両実験群において音読み条件 D での脳血流の増加量が音読み E 条件での脳血流の増加量より多いと見なせるチャンネルの数が、他の 2 つの状況の数より多いことが示された。ウィルコクソン符号付順位和検定の結果を参考にしても、分析対象となる頭頂連合野の脳内領域が音

¹⁴ ウィルコクソン符号付順位和検定以外に、母語と課題条件における交互作用を検討するために、母語と課題条件を要因として、混合型の 2 元配置分散分析を用いた。その結果、母語の主効果と交互作用は有意でなく、課題条件の主効果が有意となった($F(1,10)=5.507, p < .05$)。ただし、サンプルのサイズが小さいため、分散分析より、実験参加者間の比較ではデータの正規性を前提としないウィルコクソン符号付順位和検定を主にしたい。

読み条件 D において、より強く活性化したことが裏付けられた。従って、今回の実験結果によると、仮名漢字変換において、次候補を選択する際に、処理する候補の数と見付けやすさにより、左脳の角回・縁上回を含む頭頂連合野にかかる認知的負荷も異なってくるということが示唆される。

酒井(2002)や山鳥(1998)の主張によれば、角回・縁上回を含む頭頂連合野が言語の音や意味や視覚形態情報処理の間に中継役を担っていると考えられており、今回の結果も、次候補の選択において、処理する漢字が多いほど、漢字の各情報の処理に認知的負荷がよりかかるため、頭頂連合野の活性化も活発になるのではないかと考えられる。

研究課題(2)に関して、 χ^2 検定の結果によると、日本語母語話者と中国語を母語とする日本語学習者では、次候補の選択において、脳血流の増加量に差が見られなかった。従って、日本語母語話者と中国語を母語とする日本語学習者では頭頂連合野において認知的負荷に差がないと解釈される。

このような結果になった要因としては 2 つが挙げられる。第 1 に、実験課題が今回の実験参加者である日本語学習者にとってさほど困難ではなく、有意差が生じにくくなったからという点である。この点に関してまた 2 つの解釈ができると考えられる。1 つは、次候補の選択においては、漢字の形態情報処理が最も要求されるため、日本語の漢字と概ね同じ書記体系である中国語を母語とする日本語学習者が母語の知識を使用できるようになったからという点である。もう 1 つの解釈としては、母語と関係なく、今回の実験に参加した日本語学習者がすべて日本の大学に在籍している日本語能力試験 1 級の合格者であり、すでに今回の実験課題程度では日本語母語話者と差が生じにくいほどの漢字処理力を持つからという天井効果である。この 2 点について、将来、日本語の熟達度の異なる漢字圏と非漢字圏出身の日本語学習者を対象とすると、母語の書記体型が要因か、それとも熟達度が要因かを明らかにできる可能性がある。

第 2 の要因として、母語話者と日本語学習者の間の差が左脳の角回・縁上回を含む頭頂連合野以外の脳内領域に出る可能性が考えられる。上述したように、読み・書きにおける言語処理が脳内に複数の領域に関わるとされているため、今後、脳内の他の領域と同時分析する必要がある。

7. おわりに

本研究では、仮名漢字変換入力における言語情報処理について、fNIRSによる脳血流計測法を用い、日本語母語話者と日本語学習者を対象に、2つの難易度が異なる次候補の選択課題における認知的負荷を測定し比較した。結果として、次候補の選択に処理する必要がある漢字の数と見付けやすさが、左頭頂連合野の領域にかかる認知的負荷に影響していることを示唆する結果となった。しかし、本研究で用いられた分析方法に関しては、チャンネルの数の集計データ、 χ^2 検定とウィルコクソン符号付順位和検定の使用の妥当性などについてまだ検討する余地があり、今後改善する必要がある。また、実験デザインに関しても、刺激語の言語的特徴、たとえば、漢字の画数が統制されていない点と、カウンターバランスが取れてなかったために順序効果が出やすくなるという点が問題点として挙げられる。今後、これらの問題点を改善し、また、非漢字圏出身の日本語学習者群を加え、実験参加者の数を増やし、さらに実験を行い、結果を検討するのが望ましい。

本研究では、いくつかの問題点が残されたものの、fNIRSによる脳血流計測法が日本語入力における言語情報処理の解明とそれと日本語教育への応用の可能性が十分あることが示された。今後、こういった分野のさらなる研究に繋がれば幸いである。

[参考文献]

- Bolger, D. J. , Perfetti, C. A. , and Schneider, W. (2005). Cross-cultural effect on the brain revisited: University structures plus writing system variation. *Human Brain Mapping*, 25, 92-104.
- Chikamatsu, N. (2005). L2 Japanese Kanji Memory and Retrieval: An Experiment on the Tip-of-the-pen (TOP) Phenomenon. In V. Cook & B. Bassetti (eds.), *Second Language Writing Systems*. Clevedon: Multilingual Matters Ltd, pp.71-96.
- 張 小剛・高 建斌・高橋 勇・黒岩丈介・小高知宏・小倉久和(2005). 「外国人留学生日本語初学者向けの字画による日本語漢字入力方法およびその有

- 効性の検討」『電子情報通信学会論文誌』, J88-D-2(2), 445-449.
- Cook, V., and Bassetti, B. (2005). An Introduction to Researching Second Language”, In V. Cook & B. Bassetti (eds.), *Second Language Writing Systems* (pp.1-67). Clevedon: Multilingual Matters Ltd.
- 福田正人・亀山正樹・山岸 裕・上原 徹・伊藤 誠・須藤友博・井田逸郎・三国雅彦 (2004). 「精神疾患の生理学におけるfNIRS の意義」『臨床精神医学』, 33(6), 787-798.
- 畑佐一味・中澤一亮(2002). 「日本語学習者のキーボード入力に関する研究－英語話者を中心に－」, CASTEL/J 2002 Proceedings, 9-10.
- 星 詳子(2006). 「Near-infrared spectroscopy(fNIRS)の脳科学への応用」第6回日本光脳機能イメージング研究会 (2006年11月25日)
- Iwata, M. (1984). Kanji versus kana: neuropsychological correlates of the Japanese writing system. *Trends in Neuroscience*, 7, 290-293.
- Jobard, G., Grivello, F., and Tzourio-Mazoyer, N. (2003). Evaluation of the dual route theory of reading: a metaanalysis of 35 neuroimaging studies. *Neuroimage*, 20, 693-712.
- 今村浩一郎・宗森 純・長澤庸二(1993). 「次候補表示方法の入力効率に及ぼす影響について」『ヒューマンインタフェース』, 48(8), 57-64.
- 岩田 誠(2005). 『臨床医が語る脳とコトバのはなし』日本評論者
- 河原純一郎・玉岡賀津雄・中條和光・松見法男(2001). 「書字行動からみた言語の認知・学習過程に関する研究－書字行動測定用ソフトウェア開発の試み」『広島大学教育学部紀要・第三部(教育人間科学関連領域)』, 50, 317-324.
- 木下 徹・大石晴美(2007). 「英語リスニング課題遂行における認知的負荷に関する母語の影響」『脳科学による第1・2言語情報処理機構の直接的解明:活動脳機能可視化技術を中心に』科学研究費補助金基盤研究(B)(2)研究成果報告書 課題番号 16300259, 8-28.
- 北川利彦(2007). 「ローマ時マウスパッドの効果検証」, CASTEL/J 2007 Proceedings, 83-86.
- 小泉英明・牧 敦・山本 剛(2004). 「fNIRS による機能画像の基礎」『臨床精神医

- 学』, 33(6), 723-733.
- 国際交流基金・日本国際教育支援協会(編)(2007). 『日本語能力試験出題基準【改訂版】』凡人社
- 中山 剛・黒須正明(1985). 「日本語入力方式評価法の研究」『情報処理』, 26(11), 1390-1397.
- 大石晴美(2006). 『脳科学からの第二言語習得論－英語学習と教授法開発』昭和堂
- Oishi, H and Kinoshita, T. (2003). Cortical activation patterns in listening/reading as revealed by optical topography. *A Paper Presented at Annual Conference of American Association of Applied Linguistics, Arlington, Virginia USA.*
- 岡留 剛・小野芳彦・山田尚勇(1986). 「タイプ入力作業の構成要素間に起こる干渉」『情報処理学会論文誌』, 27(3), 304-312.
- 大槻美佳(2007). 「書字の神経機構」岩田誠・河村満(編)『神経文字学』医学書院, 179-199.
- 苧坂直行(編)(2000). 『脳とワーキングメモリ』京都大学学術出版会
- Posner, M. I. and Rothbart, M. K. (2007). Research on attention networks as a model for the integration of psychological science. *Annual Review of Psychology*, 58, 1-23.
- Roy, C.S. and Sherrington, C.S. (1890). On the regulation of the blood supply of the brain. *Journal of Physiology*, 11, 85-108.
- 島津製作所 「光で捉える脳機能近赤外光イメージング装置について」
<<http://www.med.shimadzu.co.jp/products/om/qa01.html#02>> (最終アクセス 2009 年 9 月 30 日)
- 酒井嘉邦(2002). 『言語の脳科学』中公新書
- 武田常広(2003). 『電子情報通信レクチャー－脳工学』コロナ社
- 土屋順一(2000). 『外国人学習者の日本語ワープロ誤入力の分析と外国人用漢字変換辞書の開発』文部省科学研究費補助金基盤研究(C)(2)研究成果報告書 課題番号 09680296.
- 土屋順一(2003). 『外国人学習者の日本語作文キーボード入力過程の分析とデ

データベースの作成』科学研究費補助金基盤研究(C)(2)研究成果報告書
課題番号 12680300.

土屋順一・杉田幸代(2008). 「留学生による日本語キーボード入力変換の実態」
『日本教育工学会研究報告集』, JSET08-1.

山田尚勇(1985). 「日本語文書処理」『情報処理』, 26(11), 1388-1389.

山鳥 重(1998). 『ヒトはなぜことばをつかえるかー脳と心のふしぎ』講談社現代新
書

