

子音文字の類型に関する実験研究*

ヘブライ文字黙読課題による事象関連電位に関する一考察

池田 潤[†]・桐越 舞^{††}・川邊 貴英^{†††}

【要旨】子音文字の視覚情報処理に関する基礎実験として、1名のヘブライ語母語話者に表1の視覚刺激1~6を呈示し、それらを黙読する指示を与えて事象関連電位を測定したところ、次の結果が得られた。母音記号を付した刺激は母音記号なしの刺激よりもN170の電圧が高い。同一の文字列を1形態素の語として読む場合と2形態素の語として読む場合を比べると、前者よりも後者の方がN170の電圧が高い。このうちについては、母音記号を付した刺激の方が形状的に複雑で、より多くの情報を処理する必要があるためだと考えられる。他方、刺激1と刺激4は同一の文字列で、唯一の違いは形態素の数である。したがって、施行と施行の電圧差(上記)は形態素数を反映すると思われるのが自然であろう。これは、子音文字が語根や接辞等の形態論的単位を書き記す文字であるという仮説を支持する結果だと言える。

キーワード：文字類型、子音文字、ヘブライ語、ERP、N170

1. はじめに

文字は一般に表語文字¹と表音文字とに分類される。このうち、表音文字の下位分類については研究者によってさまざまな見解がある。一例をあげると、G. Sampson (1985: 32ff.) は表音文字を音節文字 (syllabic)、分節音文字 (segmental)、素性文字 (featural²) の3つに分類する。他方、J. DeFrancis (1989: 56ff.) は音節文字 (syllabic)、子音文字 (consonantal)、アルファベット (alphabetic) の3つに分類する。さらに、R. Sproat (2000: 139-143) は DeFrancis の3分類に中核音節文字 (core syllabic³) と多子音文字 (polyconsonantal⁴) を加えた5つの分類を立てる。中でも、意見が分かれるのが子音文字の位置付けである。分節音文字 (狭義のアルファベット) が子音と母音を含むすべての分節音を表記するのに対し、

[†] 筑波大学人文社会系

^{††} 筑波大学人文社会科学部研究科一貫制博士課程

^{†††} 筑波大学人文・文化学群人文学類

* 本稿は、日本実験言語学会第6回大会(2013年9月5日、立教大学)における口頭発表に加筆修正を加えたものである。質疑応答の際に、城生佰太郎氏(文教大学)と福盛貴弘氏(大東文化大学)から有益な助言を得た。ここに記して感謝の意を表したい。また、本研究は平成24-26年度文部科学省科学研究費挑戦的萌芽研究「事象関連電位に基づく文字類型の実証的研究」(課題番号: 24652078)による成果の一部である。

¹ 表語文字については、福盛・池田(2002: 38-41)参照。

² ハングルのように、文字を構成する要素が(少なくとも部分的に)有気性、喉頭化性等の音韻素性に対応する文字。

³ エジプト語の2子音文字や3子音文字のように、1文字で複数の子音(母音は任意)を表記する文字。

⁴ 核となる音節(ミノア線文字BであればCVタイプの音節)を表記する文字を備え、それ以外の音節(e.g. /CCV/)は備えられた文字を組みあわせて(e.g. CV-CV)表記する文字。

子音のみを表記する「アルファベット」が子音文字で、consonantary ないし abjad⁵とも呼ばれる。I. J. Gelb (1963: 76ff.) はこれが母音を特定しない音節文字だと主張したが、支持を集めることはできず⁶、子音文字は母音字を欠く分節音文字とみなされることが多い⁷。

しかし、分節音文字と子音文字のちがいは単に母音字を欠くという量的なものにとどまるのだろうか。筆者の印象では、分節音文字が基本的に表音をめざす文字であるのに対し、子音文字はそうではない。たとえば、ヘブライ語碑文に現れる ברכתך (brktk) の母音は不明で、この文字列を正確に読み上げることはできないが⁸、ברך (brk) が「祝福する」という意味の語根、נ (n) が「私が」という接辞⁹、ך (k) が「あなたを」という接辞を表し、全体として「私はあなたを祝福する」を意味することが分かる¹⁰。多くの単語が3子音からなる語根をもとに構成されるセム語において、子音文字は主として語根や接辞等の形態論的単位を書き記すのに使われ、表音は二次的な用途であったと思われる。ただし、子音文字の末裔の中には一部の子音字（読みの母¹¹）で母音を補助表記したり、母音記号を考案したりして、表音機能を強化する方向に向かった文字体系も少なくない。

2. 目的

上記の印象に対する脳科学的な根拠を探るのが、本発表の目的である。子音文字が不完全な表音を目指した文字ではなく、主として語根や接辞等の形態論的単位を書き記す文字であるという仮説を検証するための第一歩として、1名のヘブライ語母語話者を対象に予備実験を実施したので、以下、この予備実験の方法と結果を報告し、現時点で可能な考察を加える。

3. 方法

3.1 実験日および被験者

予備実験は2012年2月21日に実施した。被験者は言語形成期をイスラエルで過ごした男性である。利き手は右手で、実験時の年齢は32歳である。

⁵ 「アルファベット」はギリシア文字の最初の二文字（アルファ、ベータ）にもとづく造語であるが、「アブジャド」は子音文字を代表するアラビア文字にもとづく造語である。アラビア文字のもとの配列における最初の四文字（アリフ /ʔ/、バー /b/、ジーム /ǧ/、ダール /d/）に母音 a を補って読むと、/ʔabʕad/となる（Daniels and Bright eds. 1996: 4 参照）。

⁶ この主張の背後には、すべての文字は表語文字から音節文字を経てアルファベットへと進歩するという仮説（Gelb 1963: 200ff. 参照）がある。この仮説の問題点については、Daniels and Bright eds. (1996: 8) 参照。

⁷ たとえば、Sampson (1985: 82) は子音文字を “a segmental script which ignores vowel segments” と定義する。子音文字がときに “defective alphabets”（例えば、Coulmas 1996:91 参照）と呼ばれるのも、同様の見方を反映している。

⁸ 無論、この文字列を書いた書記やこれを読んだ当時の書記はこの文字列を正確に読み上げることができたはずだが、母音はあくまで書記の言語知識によって補われたに過ぎず、表記自体が表音を目指していたわけではない。

⁹ /ti/と読まれたと推定される。なお、同じ文字を/ta/と読めば、「あなたが」という接辞となるが、目的語が「あなた」なので、ここではその可能性は排除している。

¹⁰ 後代の書記や近隣言語・方言の書記は同じ文字列を多少なりとも異なる母音で読んだはずであるが、全体として「私はあなたを祝福する」という意味は理解することができる。これは、異なる時代や近隣諸国で書かれた漢字を見て、正確な発音が分からなくとも、意味が分かる状況と似ている。

¹¹ ヘブライ文字は基本的に子音だけを表記するための文字であるが、母音をいっさい書かないとやはり読みにくい。ため、一部の子音文字を母音の音色を大まかに示すのに転用する。これを「読みの母」（ヘブライ語で imot kri'a、ラテン語で matres lectionis）と呼ぶ。具体的には、ו (w) で u か o、י (y) で i か e、ה (h) で語末の母音（a など）を示す。

3.2 収録機器

筑波大学人文社会学系棟 B613 音声実験室に設置されている機材を使用して実験をおこなった。装置の配置は図 1a の通りである。増幅器 (生体アンプ) は NEC 社製 BIOTOP 6R12 型生体アンプで、フィルタ 0.5Hz~60Hz、感度 50 μ V/fs に設定した。加算器 (取込用ソフト) はキッセイコムテック社製 EPLYZER を使用した。上記の生体アンプから、コンピュータに CONTEC 社製アナログ入力用 BNC 端子台 ATP-32F、同社製バッファアンプ ATBA-32F、同社製アナログ入力ユニット AIO-163202FX-USB を介した取り込みをおこなった。標本化 500Hz、プレトリガ-100ms、取込時間-100~1200ms、基線算出区間-100~0ms、加算回数は各 40 回に設定した。

電極の配置は、国際 10-20 法に従った F3、F4、C3、C4、P3、P4、O1、O2、F7、F8、T5、T6、Fz、Cz、Pz の 15 チャンネルを採択した (図 1b 参照)。電極の装着は、Electro-Cap International 社製エレクトロキャップ E1-L を被験者の頭部にかぶせ、同社製 electro-gel を注入しておこなった。

刺激発生装置として Cedrus 社製 Super Lab Pro ver. 2.0.4 を使用し、ナナオ社製 FlexScan ディスプレイ (型番 SX2761W/サイズ、27 インチ、リフレッシュレート 60.0Hz) を介して被験者に呈示した。

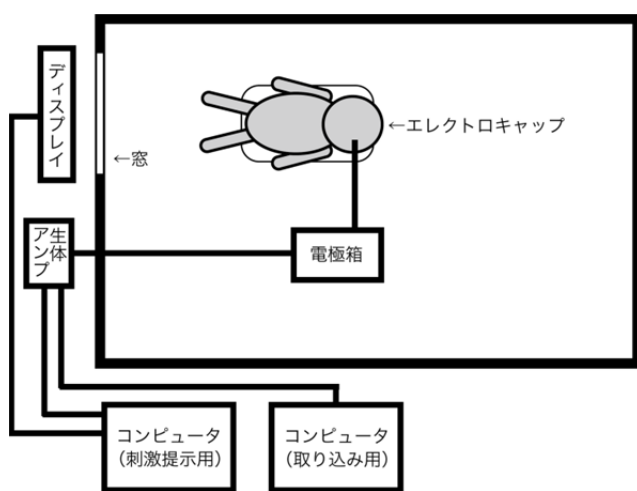


図 1a: 本実験における装置配置図

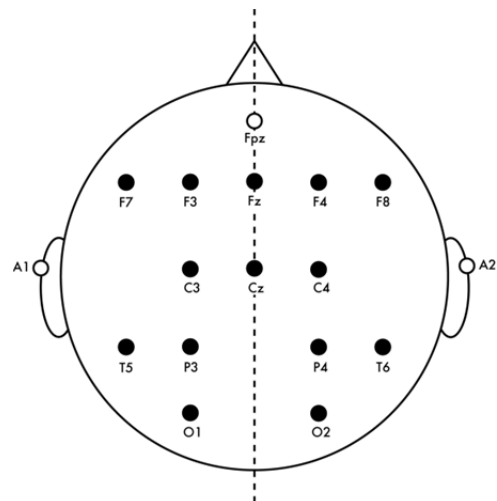


図 1b: 本実験用の電極配置図¹²

3.3 刺激

刺激には白の背景に黒の文字列 (表 1 の刺激欄参照) を用いた。文字列は Lucida Grande フォントの 500 ポイントで表示した。

¹² Fpz はボディーアース、A1・A2 は耳朶による基準電極。

表 1：視覚刺激一覧

番号	刺激	読み	意味	母音記号	読みの母	形態素数
1	אגס	/agas/	梨	なし	なし	1
2	אָגס	/agas/	梨	あり	なし	1
3	אָגס	/ages/	rude...I make	あり	なし	2
4	אגס	/ages/	rude...I make	なし	なし	2
5	סושי	/sufi/	寿司	なし	あり	1
6	סוסי	/susi/	私の馬	なし	あり	2

1 と 4 の視覚刺激は同一であるが、形態素数が異なる。1 は意味のある単位にこれ以上分割することができないが、2 は /a/ (1 人称単数主格) と /ges/ (動詞の語幹) という 2 つの形態素によって構成される。5 と 6 に含まれる ם (w) と ם (y) は、それぞれ /u/ と /i/ を示す「読みの母」である。なお、6 は /sus/ 「馬」と /i/ (1 人称単数属格) という 2 つの形態素から成る語である。

3.4 手順

3.4.1 指示

シールドルームに入室した被験者を安楽椅子に着席させ、エレクトロキャップを装着した。その後、実験中はリラックスした状態を保つこと、まばたきはまとめてすることの 2 点を伝え、施行内容に応じて次のような指示を与えた。

- 施行 (刺激 1) : 画面に現れる文字を /agas/ 「梨」として黙読してください。
- 施行 (刺激 2) : 画面に現れる文字を /agas/ 「梨」として黙読してください。
- 施行 (刺激 3) : 画面に現れる文字を /ages/ 「I make ... rude」として黙読してください。
- 施行 (刺激 4) : 画面に現れる文字を /ages/ 「I make ... rude」として黙読してください。
- 施行 (刺激 5) : 画面に現れる文字を /sufi/ 「寿司」として黙読してください。
- 施行 (刺激 6) : 画面に現れる文字を /susi/ 「私の馬」として黙読してください。

各施行では、上記の指示を伝えた後、被験者に対して刺激の呈示をおこなった。また、各施行の間には休憩を目的とした小休止をはさんだ。

3.4.2 施行時間

1460ms の fixation の後 254ms¹³ の interval を経て 1000ms の刺激を呈示した。1 回の施行につきこの計 2714ms のサイクルを 40 回繰り返した。1 回あたりの収録時間は約 1 分 49 秒であった。エレクトロキャップの装着や施行内容の指示などの準備時間および施行間の休憩時間を加えた所用時間は、約 30 分となる。

¹³ Interval が 254ms 挿入されているのは、trigger の設定および器材のタイムラグを調整した結果である。タイムラグの調整にあたり、株式会社イデアラボの澤井大樹氏の助力を受けた。

3.4.3 刺激の呈示方法

被験者との距離が 200cm となる位置からナナオ社製 FlexScan ディスプレイ (3.2 節参照) を用いて全視野刺激を両眼呈示した。

3.4.4 解析方法

解析にはキッセイコムテック社製ソフトウェア EPLYZER -A を使用した。収録した脳波の再加算編集¹⁴おこない、そのうえで、N170 の山 (陰性ピーク) と VPP の谷 (陽性ピーク) の電圧を計測した。

4. 結果

4.1 波形

施行 ~ において、刺激提示後 170ms 近傍で N170 成分 (O1、O2、T5、T6、図では下向き矢印で示す) と VPP (Fz、Cz、図では上向き矢印で示す) が出現した (図 2a-2c)¹⁵。側頭葉における N170 は左優位であった。なお、施行 ・ においても O1、O2、T5、T6 の 170ms 近傍に陰性ピークが現れたが、Fz と Cz に対応する VPP がはっきりと出なかったため、N170 と見なしてよいか疑問が残るため、矢印は付していない。

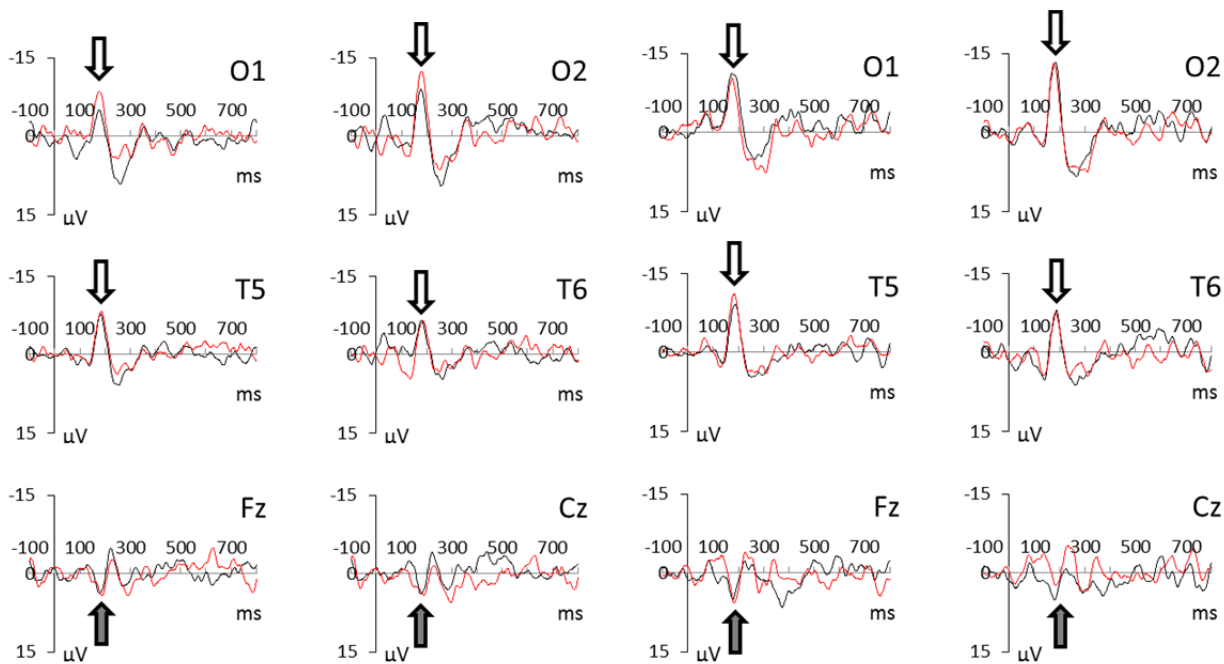


図 2a : 施行 と (赤)

図 2b : 施行 と (赤)

¹⁴ 筋電や瞬目によるアーチファクトおよびノイズを波形の目視によって除去し、波形の再加算を行った。

¹⁵ N170 は顔や語の視覚処理の際に後頭葉から側頭葉にかけて刺激提示後 170ms 近傍に出現する成分で、顔の識別の場合は右優位、語の場合は左優位に出現することが知られる。N170 とほぼ同時に Oz から Fz にかけて出現する陽性波を VPP (vertex positive potential) と呼ぶ。詳しくは、池田ほか (2013) 参照。

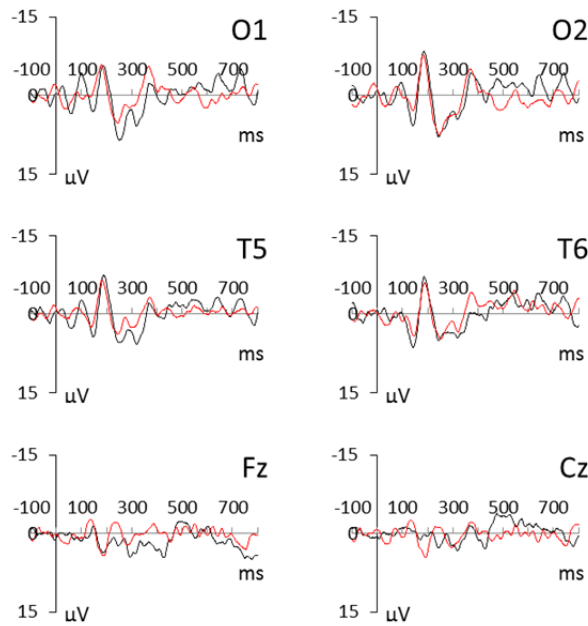


図 2c：施行 と (赤)

4.2 N170 の潜時と電圧

N170 のピーク潜時は O1 で 160~170ms、O2 で 162~170 ms、T5 で 166~172 ms、T6 で 166~174 ms と大きな差はない(表 2)。他方、電圧には次のような興味深い違いが見られた。

母音記号を付した刺激は母音記号なしの刺激よりも電圧が高い (図 3a：施行 > 、図 3b：施行 >)。

表 2：N170 のピーク潜時 (ms) および電圧 (μV)

		O1	O2	T5	T6
施行	潜時	162	162	166	166
	電圧	-5.04	-8.97	-7.69	-6.54
施行	潜時	160	168	172	172
	電圧	-11.21	-13.27	-9.1	-7.89
施行	潜時	160	162	168	168
	電圧	-10.32	-13.12	-11.06	-7.46
施行	潜時	162	164	170	170
	電圧	-8.53	-12.32	-8.36	-6.48
施行	潜時	170	170	172	170
	電圧	-5.8	-8.49	-7.37	-7.14
施行	潜時	164	166	166	174
	電圧	-5.89	-7.72	-6.48	-5.87

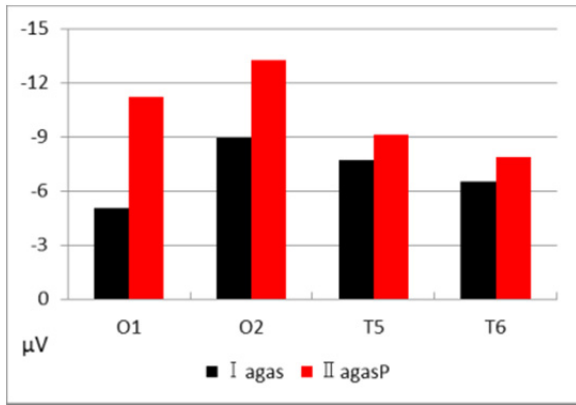


図 3a：施行 と (赤)

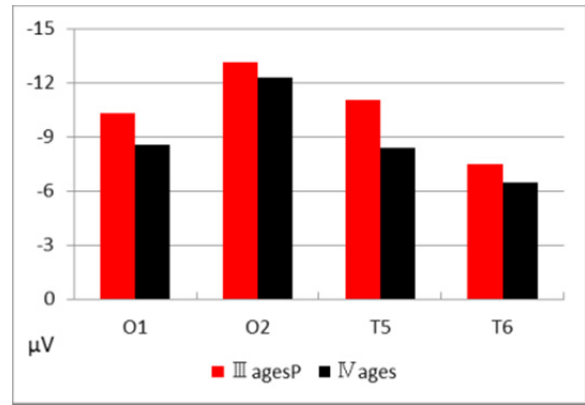


図 3b：施行 (赤) と

刺激 1 と刺激 4 は同一の文字列であるが、2 形態素の后者の方が 1 形態素の前者よりも N170 の電圧が高い (図 4a：施行 <)。この傾向はとくに O1、O2 で顕著であった。

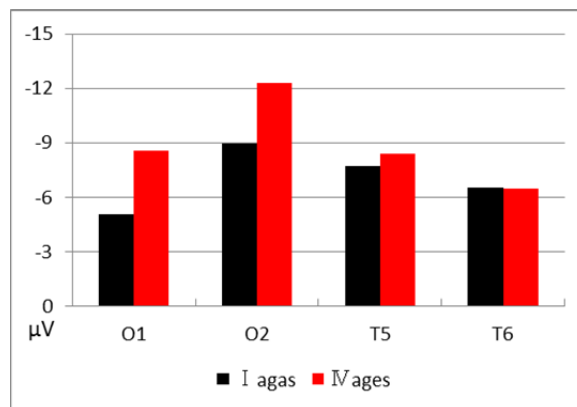


図 4a：施行 と (赤)

ただし、これ (刺激 1 = 刺激 4) に異なる母音記号を付した刺激 2 (1 形態素) と刺激 3 (2 形態素) では、O1・O2 の電圧差はほとんど見られない (図 4b：施行)。読みの母を含む刺激 5 (1 形態素) と刺激 6 (2 形態素) にも電圧差はほとんど認められなかった (図 2c：施行)。

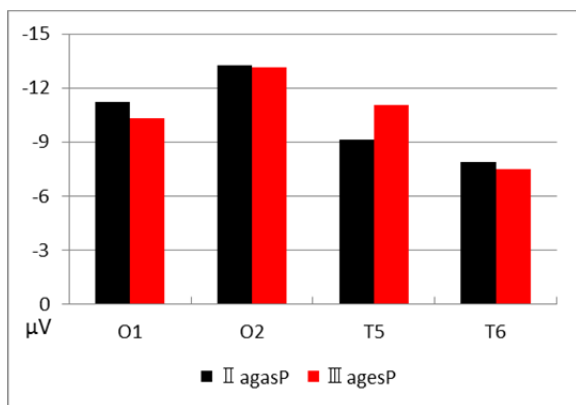


図 4b：施行 と (赤)

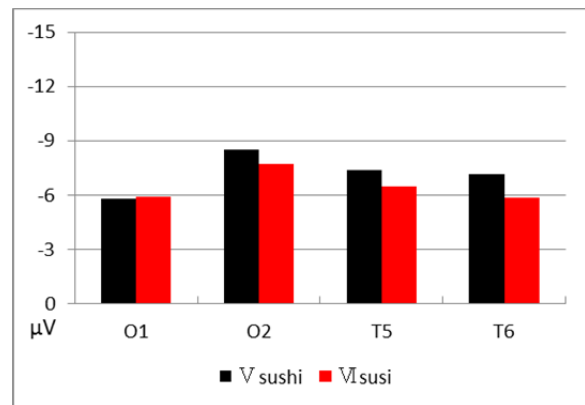


図 4c：施行 と (赤)

5. 考察

母音記号を付した刺激が母音記号なしの刺激よりも電圧が高いのは(上記)、母音記号を付した刺激の方が形状的に複雑で、より多くの情報を処理する必要があるためであろう¹⁶。

なお、被験者からは「母音記号があった方が、読みがひとつに決まるので楽だ」という感想があったが、被験者は読みを意識する前に文字の形状の処理を行っており、N170はこの早い段階の視覚情報処理を反映していると考えられる。

刺激1と刺激4は同一の文字列で、唯一の違いは形態素の数である。したがって、施行と施行の電圧差(上記)は形態素数を反映すると考えるのが自然であろう。刺激4(2形態素)が刺激1(1形態素)よりも電圧が高いため(図4a)、形態素が増えると電圧が上がるという相関が見て取れる。これは、子音文字が不完全な表音を目指した文字ではなく、主として語根や接辞等の形態論的単位を書き記す文字であるという仮説を支持するものと言える。ただし、N170は前語彙的過程(prelexical process)であり(Dehaene et al. 2002 参照)、被験者がこの段階で読みや意味まで意識していると考えるのは無理がある。したがって、ここで言う「形態論的単位」は形態素そのものではなく、形態素を見分けるのに必要となる前語彙的な切り分けとしての文字認知単位と理解すべきであろう。

ところが、同じ文字列に母音記号を付すと、O1・O2の電圧差はほとんどなくなる(図4b)。読みの母を含む刺激5(1形態素)と刺激6(2形態素、刺激1とは一字違い)にも電圧差はほとんど認められなかった(図4c)。形態素が増えても電圧が上がっていないため(上記)、これは上記の仮説に反する結果にも見える。この問題については、再現性も検証した上で慎重に論じる必要がある¹⁷。

6. おわりに

本実験の目的は、子音文字が不完全な表音を目指した文字ではなく、主として語根や接辞等の形態論的単位を書き記す文字であるという仮説を検証することにあった。今回の予備実験の結果は、この仮説を支持するものと言える。まず、この結果が同じ被験者において再現するかを追験によって確認する必要がある。追験では視覚刺激として無意味語も加えてみたい。その上で、最終的には複数の被験者を対象として同じ実験を実施したいと思う。

【参考文献】

¹⁶ 文字に対するN170の電圧に関しては、文字数が短い方が高い(Hauk & Pulvermüller 2004)、無意味語よりも意味のある語の方が高い(Maurer et al. 2005)、漢字2文字よりもひらがな3文字の方が高い(Maurer et al. 2008)などの報告があるが、依然として不明な点が多い。他方、顔に対するN170の電圧に関しては、見分ける視覚的情報の量に応じて電圧が変化することや(D'Lauro 2010: 14)、顔の画像を上下反転させたり(Rossion et al. 1999)、半分に切つてずらしたり(Jacques, & Rossion 2010)すると、顔と認知できる範囲なら、N170の電圧が上がることが知られる。Rossion(1999)はこの電圧の変化に対し、2種類の説明を試みている。ひとつは上下反転により顔の全体像が失われ、視覚刺激の処理がより複雑になったという可能性で、もうひとつは上下反転した顔を識別するために追加の処理が動員され、その分の電圧が増加するという可能性である。これらの知見をふまえ、ここでは視覚情報処理の複雑さや量とN170の電圧に関係があると想定している。

¹⁷ 次のような解釈も可能であろう。刺激4と刺激1に母音記号を打つと表音的に読むことが可能になる。そのため、形態素に切り分ける必要がなくなり、O1・O2の電圧差がほとんど見られなくなるのではないだろうか。同様に、読みの母を含む文字列は多少なりとも表音的に読むことが可能になり、純粋な「子音文字」ではない。

- 池田潤、桐越舞、渡辺和希、桂雯、川邊貴英 (2013) 「文字認知における N170 成分に関する一考察」『実験音声学・言語学研究』第 5 号 : 1-14.
- 福盛貴弘・池田潤 (2002) 「文字の分類案 : 一般文字学の構築を目指して」『一般言語学論叢』第 4・5 号 : 33-56.
- Coulmas, F. (1996) *The Blackwell Encyclopedia of Writing Systems*. Oxford: Blackwell.
- Dehaene, S., G. Le Clec'H, J.-B. Poline, D. Le Bihan, & L. Cohen (2002) "The visual word form area: a prelexical representation of visual words in the fusiform gyrus." *NeuroReport* 13 (3): 321-325.
- Daniels, P. T. and W. Bright eds. (1996) *The World's Writing Systems*. New York, Tokyo: Oxford University Press.
- DeFrancis, J. (1989) *Visible Speech: The Diverse Oneness of Writing Systems*. Honolulu: University of Hawaii Press.
- D'Lauro, C. (2010) "Viewpoints, Faces, and the N170 ERP Component." Ph.D. dissertation, University of Colorado.
- Gelb, I. J. (1963) *A Study of Writing*. Rev. ed., Chicago: University of Chicago Press.
- Hauk, O. & F. Pulvermüller (2004) "Effects of word length and frequency on the human event-related potential." *Clinical Neurophysiology* 115 (5): 1090-1103.
- Jacques, C. & B. Rossion (2010) "Misaligning face halves increases and delays the N170 specifically for upright faces: implications for the nature of early face representations." *Brain Research* 1318: 96-109.
- Maurer, U., D. Brandeis, & B. McCandliss (2005) "Fast, visual specialization for reading in English revealed by the topography of the N170 ERP response." *Behavioral and Brain Functions* 1 (1): 13.
- Maurer, U., J. D. Zevin & B. D. McCandliss (2008) "Left-lateralized N170 effects of visual expertise in reading: Evidence from Japanese syllabic and logographic scripts." *Journal of Cognitive Neuroscience* 20 (10): 1878-1891.
- Rossion, B., J.-F. Delvenne, D. Debatisse, V. Goffaux, R. Bruyer, M. Crommelinck & J.-M. Guerit (1999) "Spatio-temporal brain localization of the face inversion effect." *Biological Psychology* 50: 173-189.
- Sampson, G. (1985) *Writing Systems*. Stanford: Stanford University Press.
- Sproat, R. (2000) *A Computational Theory of Writing Systems*. Cambridge: Cambridge University Press.

An Experimental Study of the Typology of *Abjad* Based on ERPs Evoked by Silent Reading Tasks in Hebrew

Jun IKEDA[†], Mai KIRIKOSHI^{††} & Takahide KAWABE^{†††}

To investigate the visual processing of the *abjad* writing, event-related potentials (ERPs) were recorded while a native speaker of Hebrew silently read the six stimuli in Table 1. The ERPs showed that the stimuli with vowel points produced a larger negativity peaking around 170 ms (N170) than those without vowel points (1), and that the stimulus containing two morphemes (Stimulus 4 in Table 1) produced a larger N170 than the one with a single morpheme (Stimulus 1 in Table 1) even though they are visually identical (2). (1) was probably due to the fact that the stimuli with vowel points are visually more complex and requires more extensive visual processing. (2) suggests that the number of morphemes within a visual stimulus affects the amplitude of N170. This supports our hypothesis that the *abjad* writing is neither “a segmental script which ignores vowel segments” (Sampson 1985: 82) nor “defective alphabets” (Coulmas 1996:91) but designates morphological units such as roots and morphemes.

[†]*Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Tsukuba*
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8571, Japan
E-mail: ikeda.jun.fm@u.tsukuba.ac.jp

^{††}*Doctoral Program in Literature and Linguistics, University of Tsukuba*
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8571, Japan
E-mail: mkiri6pp@yahoo.co.jp

^{†††}*College of Humanities, University of Tsukuba*
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8571, Japan
E-mail: tony.seattle@gmail.com