

# 視覚刺激による ERP の基礎研究\*

—— 文字類型の実証的研究(1) ——

池田 潤

## 1 はじめに

筆者はかつて福盛貴弘氏との共著論文（福盛・池田2002）において文字の類型をめぐる諸問題を論じたことがある。そのときに痛感したのが、実証の難しさであった。たとえば、いわゆる文字を表語（logographic）文字と表音（phonographic）文字に大別する立場（図1）もあれば、すべての文字は表音文字であり、それらがさまざまな度合いの表語性を有すると考える立場（図2）もある<sup>1</sup>。表音文字の下位区分も図1と図2では大きく異なっている。どちらも音節（syllabic）文字を認めるが、図2は独自に“core syllabic”という分類を立てている<sup>2</sup>。また、図1の分節音（segmental）文字を図2は子音（consonantal）文字とアルファベットに分け<sup>3</sup>、図1の素性（featural）文字を図2は認めない点も目をひく<sup>4</sup>。

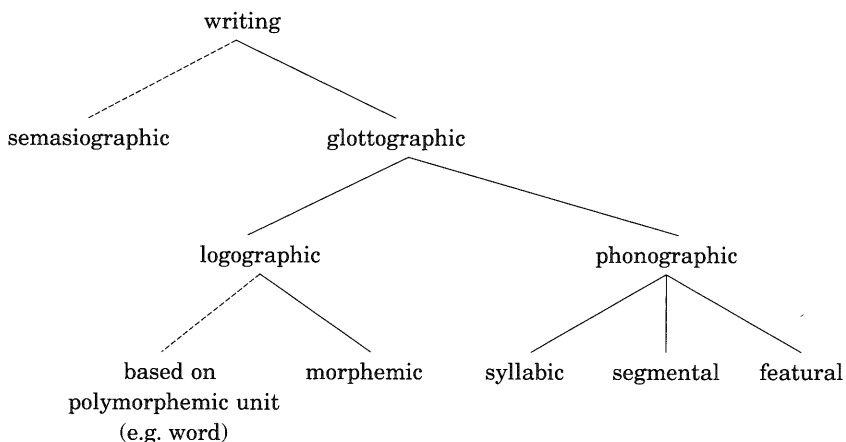


図1：G. Sampson の分類（福盛・池田 2002より転載）

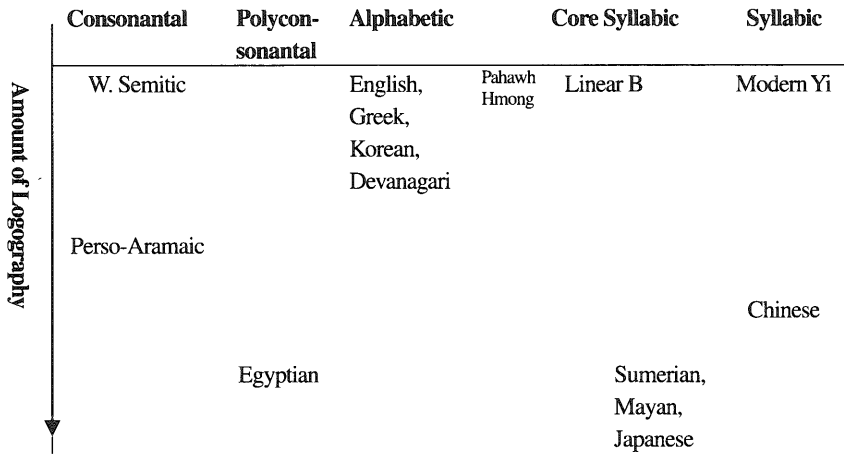


図 2 : R. Sproat の分類 (福盛・池田 2002を一部改変)

文字の類型についてなかなかコンセンサスが得られない背景には、いくつかの要因が考えられる。まず、文字の研究そのものが音声の研究に比べて大幅に遅れている現状がある。文字は音声と並ぶ言語記号表現であるが、20世紀の言語学を貫くひとつの理念として音声言語中心主義が存在したため、ソシュールやブルームフィールドを初めとする多くの言語学者が文字という記号表現にほとんど関心を向けてこなかった<sup>5</sup>。コンセンサスを形成しようとする意識すら希薄であったと言ってもよい。

次に、文字研究者が自分の得意とする文字をもとに文字の類型を論じてきた現実もある。東アジアの文字を専門とする者、西アジアの文字を専門とする者、アルファベットを専門とする者の間で、文字に対する基本認識や研究の動機に微妙なずれが生ずるのは当然とも言える。

さらに、文字の場合、記号表現の基礎科学が確立されていないという問題もある。音声学では「①言語音の産出にかかわる生理音声学 (physiological phonetics), ②口唇より放出された後の段階を扱う音響音声学 (acoustic phonetics), ③聴覚器官で受容された後、大脳における聴覚情報処理系の営みによって言語音が認知理解されるまでの段階を扱う聴覚音声学 (auditory phonetics)」(城生 2006: 55) という三大分野が確立されているが、文字に関しては生理音声学と音響音声学に対応する分野が存在しない<sup>6</sup>。言語音の分類は生理音声学と音響音声学によるところが大きく、これに対応する研究分野を欠く

点が文字の分類が難航する最大の要因であろう。

ただし、③については、岩田・河村(2007)の提唱する「神経文字学」が存在し、医学や心理学の立場からの研究がすでに進んでいる。したがって、文字が脳における視覚情報処理系の営みによって認知理解されるプロセスをつぶさに観察すれば、文字の類型に関して脳科学的な根拠が得られる可能性がある。このような問題意識の上に立って、類型的に異なる視覚刺激によって誘発される ERP の基本的な特徴を虚心坦懐に探るべく、被験者を1名に限定して基礎実験を実施した。

## 2 実験の目的

ケーススタディとして選んだ被験者が図形と文字をどのように区別しているのか、また表音文字と表語文字をどのように区別しているのかを探るため、同一の視覚刺激を図形として、表音文字として、あるいは表語文字として脳内処理する際の ERP の違いを脳波計を用いて検討した。

## 3 実験の方法

### 3.1 被験者および実験日時

被験者の MK 氏は22歳の女性で、言語形成期を埼玉県で過ごしている。利き手は右手である。

脳波の収録は下記の日時に2度実施した。

【実験1】 2月4日 18時9分～18時23分

【実験2】 2月19日 15時43分～18時59分

### 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1の通りである。増幅器(生体アンプ)は NEC 社製 BIOTOP 6 R12型生体アンプで、フィルタ0.5Hz～60Hz、感度50 $\mu$ 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 II 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 AD12-16U(PCI)E 型 AD12-16U(PCI)E 型 A/D 変換ボードを介して接続した装置を用いた。標本

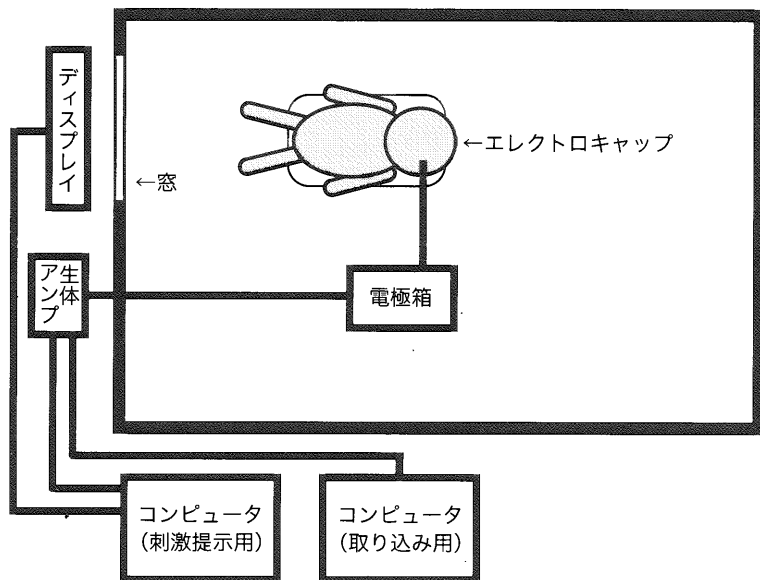


図 1 : 本実験における装置配置図

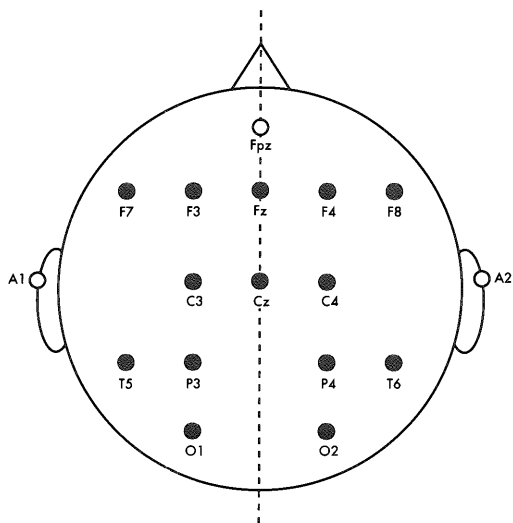


図 2 : 本実験用の電極配置図

(Fpz はボディーアース, A1・A2 は耳による基準電極)

化500Hz, プレトリガ-100msec., 取込時間-100~2000msec., 加算回数は各35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 の14チャンネルを採択した(図2参照)。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 Labo Pro ver.2.0.4 を使用し、IIYAMA 社製19LE1-B 型ディスプレイ(19インチ, 96dpi, リフレッシュレート75Hz) を介して被験者に呈示した。ディスプレイと被験者の距離は157cmであった。

### 3.3 刺激

刺激には灰色の背景に白の「口」を用いた<sup>7</sup>。背景色には Microsoft<sup>®</sup>ペイントの「色の編集」機能を用い、色合い160, 鮮やかさ0, 明るさ130, 赤138, 緑138, 青138の灰色を指定した。「口」は MS ゴシックの315ポイントで表示し、ディスプレイ上の実測で横82mm×縦86mmであった。

### 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、瞬目などに注意するよう伝え<sup>8</sup>、施行内容に応じて次のような指示を与えた。

- 施行Ⅰ：ディスプレイに現れる図形を頭の中で繰り返してください。
- 施行Ⅱ：ディスプレイに現れる文字をカタカナの「口」として口に出さずに読んでください。
- 施行Ⅲ：ディスプレイに現れる文字を漢字の「口」として口に出さずに読んでください。

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

100msec.のトリガー時間の後、1000msec.上記の刺激を呈示し、3000msec.のインターバルをとった。1回の施行では、この計4100msec.のサイクルを35回繰り返した。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、実験1も実験2も約30分であった。

なお、実験2の施行Ⅲの20回目前後にシールドルームの外で携帯電話が鳴った。被験者に確認したところ聞こえていなかったが、念のため施行Ⅲのみ再度収録した(施行Ⅲa)。収録した脳波は施行Ⅲaよりも施行Ⅲの方が安定していたため、本稿では施行Ⅲのデータを採用した。

### 3.4.3 刺激の呈示方法

被験者との距離が157cmとなる位置からIIYAMA社製19LE1-B型ディスプレイ(輝度・コントラストは既定値)を用いて水平視角2.99度、垂直視角3.14度、仰角7.08度(刺激下端)~10.22度(刺激上端)の全視野刺激を両眼呈示した。

### 3.4.4 解析方法

キッセイコムテック社製ソフトウェアEPLYZERⅡを使用して収録した脳波の再加算編集と解析をおこなった。本実験では、刺激の視認および読み分けに対応するERP成分の析出を目的とするため、筋電や瞬目によるアーチファクトおよびノイズは波形の目視によって除去した<sup>10</sup>。そのうえで、ERP波形の山(陰性ピーク)と谷(陽性ピーク)を目視によって観察しながら、キッセイコムテック社製ソフトウェアATAMAPⅡを用いて脳電位トポグラフィを確認し、トポグラフィ上で最も彩度の高い部分の潜時を求めた。

## 4 結果

### 4.1 波形の特徴

実験1で収録した波形を図3に示す。施行Ⅰは黒、施行Ⅱは薄いグレー、施行Ⅲは両者の中間色の波形で示してある。

図3を目視して、まず目を引くのが施行Ⅲの170msec.近傍(図中に▲で示す)で前頭葉から中心溝にかけて出現する陰性波である。また、T5とT6がほぼ逆位相になっており、側頭葉における左右差が観察された。F7とF8の

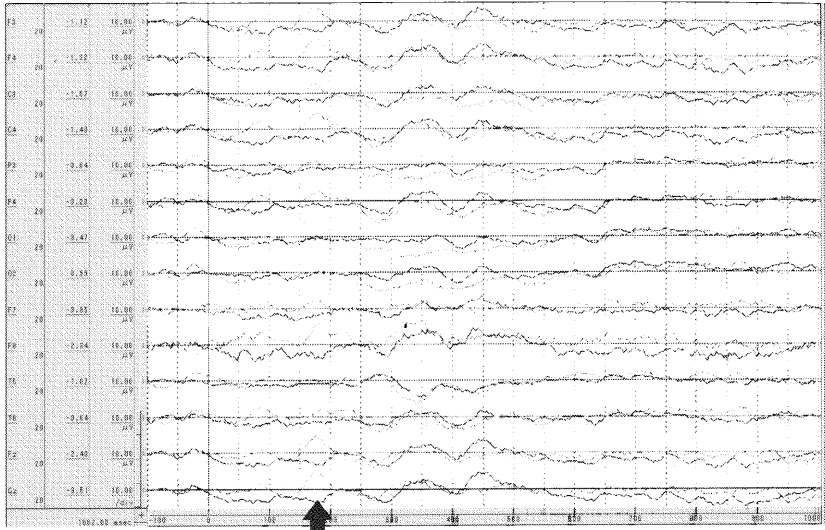


図3：実験1の波形

波形の乱れも気になるが、これは瞬目や眼球運動の筋電によるものと考えられる。

これらの特徴が1回限りのものなのか、それとも再現性があるのかを確認するために同一被験者に同一の刺激を呈示して追験したのが実験2である。実験1と実験2における施行Ⅱの波形を重ね書きしてみると、図4のようになる。

図4を見ると、多少の電圧差や遅速差はあるものの、実験1の波形パターンは実験2においてもおおむね再現していることが分かる。500msec.を越えると一部の部位に逆位相も見られるが、500msec.未滿の潜時における再現性は高く、本実験で得たデータの信憑性の証と見ることができる。

他方、図5（とくに▲の前後）を見ると、実験1で出現した170msec.近傍の陰性波は実験2で出現していない。しかし、この点を別にすれば、実験1の波形パターンは実験2においてもおおむね再現していると言うことができる。T5とT6の左右差についても、再現性が確認された。

#### 4.2 ピーク潜時

波形目視において再現性の高かった500msec.以内のピークに限ってその潜

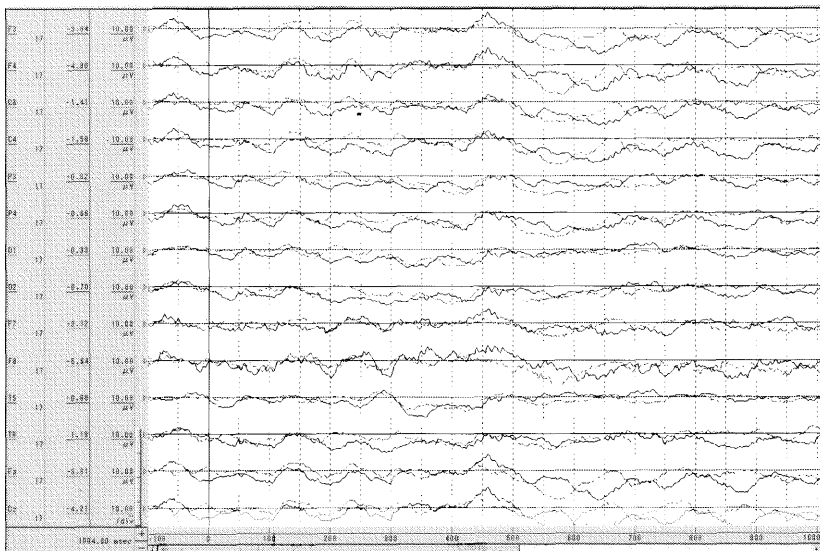


図 4 : 実験 1 (黒) と実験 2 (グレー) で得られた波形の比較 (施行 II)

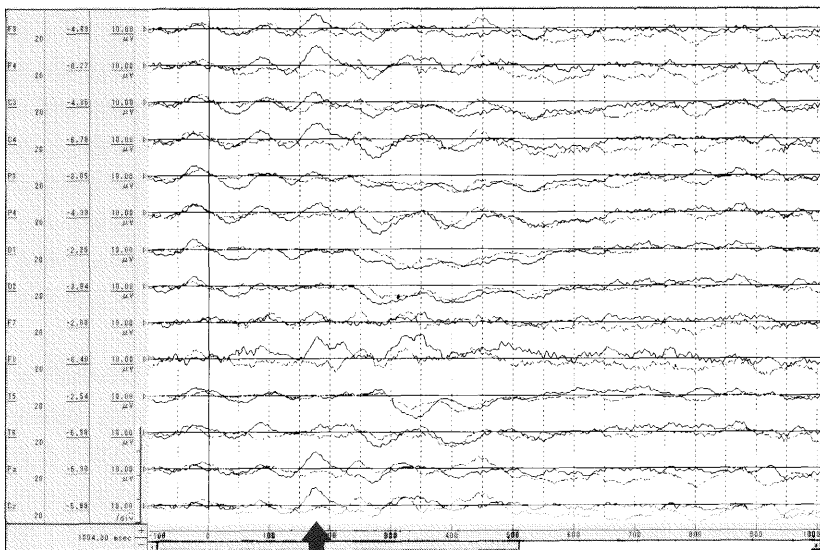


図 5 : 実験 1 (黒) と実験 2 (グレー) で得られた波形の比較 (施行 III)



時を計測した。表 1 に実験 1 のピーク潜時を、表 2 に実験 2 のピーク潜時を示す。二峰性の波形については、2つのピーク潜時をスラッシュで区切って並置した。

表 1 : 実験 1 のピーク潜時 (単位は msec.)

	P 1	N 1	P 2	N 2	P 3	N 3
施行 I	74/176	216	290	358	408	442
施行 II	106	136	200	250	296	456
施行 III	50	84	134	176	270	346

表 2 : 実験 2 のピーク潜時 (単位は msec.)

	P 1	N 1	P 2	N 2	P 3	N 3
施行 I	74/142	162	278	326	368	422
施行 II	88	138	194	232	400	440
施行 III	64	108	152	248	410	440

実験 1 の N 1 ピーク潜時成分に着目すると、施行 I > 施行 II > 施行 III の順にピーク潜時が大幅に早まっていることが分かる。実験 2 では潜時の差は縮まったが、「施行 I > 施行 II > 施行 III の順にピーク潜時が早くなる」というパターンそのものは再現している。これをグラフに図示すると、図 5 の通りである。

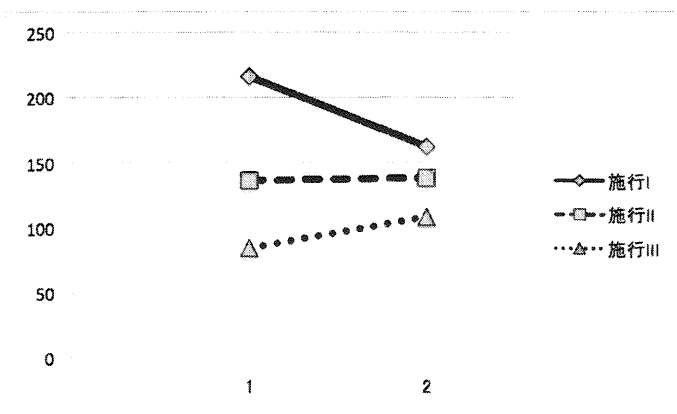


図 5 : N 1 ピーク潜時の比較  
 (縦軸の単位は msec., 横軸は実験番号)

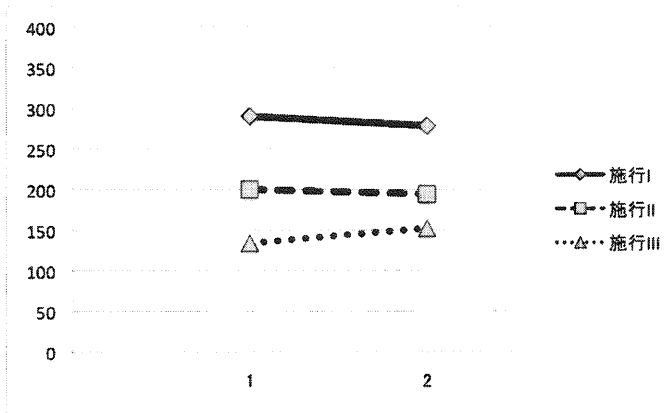


図6：P2ピーク潜時の比較  
(縦軸の単位は msec., 横軸は実験番号)

同様のパターンがP2ピーク潜時についても観察された(図6)。P2ピークでは、実験1と実験2とで潜時の差もほとんどなく、再現性はいっそう高いと言える。

実験1では、このパターンがP3まで保持され、N3で崩れている。実験2では、N2ではややとパターンが崩れている。パターンが崩れるタイミングには違いがあるものの、N1とP2における再現性は見事である。

## 5 考察

本実験の目的は、上記の結果を手がかりとして、「ケーススタディとして選んだ被験者が図形と文字をどのように区別しているのか」また「表音文字と表語文字をどのように区別しているのか」を探ることにあつた。実験の各施行に使用した刺激は同一であるため、観察された脳波の差異は刺激の違いではなく、大脳における視覚情報処理系の営みの違いによるものであることは間違いない。刺激を変えずに脳内処理のみを変える実験パラダイムで脳波の再現性が確認できるかどうか未知数であつたが、その不安は解消された。前節で再現性が確認された脳波の特徴として、次の2点をあげることができる。

- (1) 側頭葉(T5とT6)における左右差

## (2) N1 と P2 のピーク潜時における遅速差

このうち(1)については、本実験の関心事である図形と文字の区別や表音文字と表語文字の区別とは無関係な現象だと考えられる。左右差は T5 と T6 に見られるが、T6 は T5 以外の波形とほぼ同じ位相を示し、全体と逆の位相になっているのは T5 の波形のみである。ところが、図 3 を見ると、T5 の波形は施行 I ～ III の間でほとんど差がない。脳内処理を変えても脳波がほとんど変わらないという事実は、T5 の波形が図形と文字の区別、表音文字と表語文字の区別を越えて施行 I ～ III に共通する脳内処理に関与していることを示唆する。

これに対し、(2)は施行 I ～ III という脳内処理の違いに対応して一定のパターンで変化している。したがって、N1 と P2 のピーク潜時における遅速差は図形と文字の区別や表音文字と表語文字との区別に直接関与すると考えるのが自然である。おそらく脳は視覚刺激処理の早い段階で図形か文字かの振り分けをおこなっており、その指標となるのが N1 と P2 のピーク潜時だと推定される<sup>11</sup>。最も複雑な課題と思われる施行 III の潜時が最も早くになっている点も興味深い<sup>12</sup>。

なお、4.1 で触れた施行 III の 170msec. 近傍に出現する陰性波は、Simon, et al. (2007) 等の先行研究によって知られる N170 を思わせる成分である<sup>13</sup>。しかし、この陰性波はなぜか実験 2 で再現しなかった。再現しなかった理由はいろいろ考えられる。①単に被験者ないし実験のコンディションがよくなかっただけかもしれないし、②N170 という成分が実は表語性と直結しないからかもしれない。あるいは、③N170 成分は文字列（スペリング）に対して出現しやすいという可能性もある。①であれば、追験によって簡単に検証ができる。②や③の場合、パラダイムを根本的に組み替えた新たな実験の構想が必要となる。

## 6 おわりに

本実験から引き出される結論は次の 2 点である。

- N1 と P2 のピーク潜時における遅速差は図形と文字の区別と関連がある。
- 現段階では、施行 III の 170msec. 近傍に出現する陰性波を先行研究によって知られる N170 成分と同定するのは困難である。

N1とP2のピーク潜時については、別の被験者による追験を実施し、これが一個人に見られる現象なのか、より一般性のある現象なのかを突き止める必要がある。また、同じ被験者に対して別の刺激を用いた追験もおこない、上記の発見が特定の視覚刺激に依存したものでないことも確認していきたい。

N170に関しては、再現性とは別の問題も存在する。Simon, et al.(2007)ではN170がT5に出現すると報告されているが、上で述べたとおり、N170らしき成分が検出された実験1においてもT5の170msec.近傍には陰性波が出現していない。今後、この点についても検討を重ね、N170成分が表語処理に関与するという仮説そのものを見直していく必要がある。

## 注

\* 本研究の準備段階において、平成18年度学内プロジェクト研究の助成研究(B)「脳波実験による文字研究」(研究代表者：池田潤)の助成を受けた。本実験の立案・実施・解析に際しては、本専攻の城生佰太郎教授の全面的なご協力とご指導を受けた。また、城生教授が担当した実験音声学研究(2)および筆者が担当した文献言語学研究(2)(いずれも平成19年度)に出席した学生諸氏の献身的な協力も得た。本稿執筆に際して、実験音声学研究(2)で配布された各種資料も参考にした。ここに記して感謝の意を表する。

- 1 詳しくは、福盛・池田(2002)の第3.1節を参照。
- 2 詳しくは、福盛・池田(2002)の第3.2節を参照。
- 3 詳しくは、福盛・池田(2002)の第3.3節を参照。
- 4 詳しくは、福盛・池田(2002)の第3.4節を参照。
- 5 詳しくは、池田(2006)の第2節を参照。
- 6 池田(2006:331)は生理音声学・音響音声学に対応する分野として筆記文字学・文献文字学を想定するが、あくまで構想にとどまる。
- 7 予備実験として、「口」の代わりに「□」を用いた実験および白の背景に黒字で刺激を表示する実験をおこなった。それをもとに、被験者がもっとも違和感を感じず、より安定した脳波が収録できる刺激を選び出し、本実験を実施した。
- 8 具体的には、実験中は半眼かつ口を半開きにして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点を伝えた。
- 9 ここで言う「視認」とは、視覚刺激の形や色や動きを認知する以前に、ともかく刺激の存在が目に入っている(見えている)状態を意味する。
- 10 具体的には、0~800msec.の範囲内にノイズやアーチファクトがはっきり混入した波形は加算から外して波形の再加算をおこなった。
- 11 今回のデータからは、表音文字か表語文字かの振り分けもN1とP2の段階でおこなれている可能性も示唆されるが、このような処理が本当にこれほど早い段階で行われているのかどうかについては、後続するN2, P3, N3などとのかねあいも考慮に入れつつ今後の実験の中で慎重に検討すべき問題であると思わ

れる。

- 12 聴覚処理においても複雑な課題ほど潜時が早くなることがあるという (城生 1997: 293-298)。これは本稿における発見と通底する現象だと考えられる。
- 13 N170は表語文字列の認知や顔の認知と関係があるとされる。詳しくは, Simon, et al.(2007) を見よ。

#### 【参照文献】

- 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.
- 池田潤 (2006) 「文献言語学序説」城生佰太郎博士還暦記念論文集 (編) 『実験音声学と一般言語学』東京堂出版, 325-334.
- 岩田誠・河村満 (編) (2007) 『神経文字学：読み書きの神経科学』医学書院.
- 城生佰太郎 (1997) 『実験音声学研究』勉誠社.
- 城生佰太郎 (2006) 「実験音声学の研究方法」城生佰太郎博士還暦記念論文集 (編) 『実験音声学と一般言語学』東京堂出版, 52-60.
- Sampson, G. (1985) *Writing systems*. Stanford CA: Stanford University Press.
- Simon, G., L. Petit, C. Bernard, and M. Rebai (2007) “N170 ERPs could represent a logographic processing strategy in visual word recognition.” *Behavioral and Brain Functions* 3:21.
- Sproat, R. (2000) *A computational theory of writing systems*. Cambridge: Cambridge University Press.