

ヘブライ文字黙読課題による事象関連電位再考*

池田 潤†

【要旨】池田ほか (2015) では、ヘブライ文字の場合、N170 と P250 の電位差が母音記号の有無という物理量、およびユニット数という認知量を反映するのではないかという解釈を提示しているが、これに対して別の解釈を提示するのが本稿の目的である。この実験で用いた視覚刺激は、1 ユニット母音記号なし (1U)、1 ユニット母音記号あり (1UP)、2 ユニット母音記号なし (2U)、2 ユニット母音記号あり (2UP) の 4 種類に分類されるが、このうち言語的にも視覚的にも異なり、両方の処理が重畳する 2UP を除いて比較してみると、前者では N170 のピーク電圧に、後者では P250 のピーク電圧に明瞭な違いが認められ、N170 は視覚処理、P250 は前語彙的な言語処理に関連しているという新たな解釈が可能となる。

キーワード：文字類型、子音文字、ERP、N170、P250

1. はじめに

池田ほか(2015)では、①同一のヘブライ語文字列を 1 ユニットの名詞、2 ユニットの動詞としてそれぞれ黙読するタスク、②この文字列に (名詞と動詞とで異なる) 母音記号を打ったものを黙読するタスクを課し、子音文字と母音記号を大脳で処理する際の波形の特徴をボトムアップ式に探索することにより、ヘブライ文字の場合、N170 と P250 の電位差が母音記号の有無という物理量およびユニット数¹という認知量を反映するのではないかという解釈を提示した。

2. 目的

上記の実験で使用したヘブライ文字の視覚刺激は、1 ユニット母音記号なし (1U)、1 ユニット母音記号あり (1UP)、2 ユニット母音記号なし (2U)、2 ユニット母音記号あり (2UP) の 4 種類に分類されるが、このうち言語的にも視覚的にも異なり、両方の処理が重畳する 2UP を除いて比較してみると、言語的に同一で視覚的に異なる 1U と 1UP の比較から視覚処理の影響、視覚的に同一で言語的に異なる 1U と 2U の比較から言語的処理の影響を単離することが可能となる。このような観点から池田ほか (2015) の実験結果を再考するのが本発表の目的である。

3. 方法

3.1 実験日および被験者

被験者および実験日は表 1 の通りである。

*本稿は AttLis 2016 (2016 年 3 月 10-11 日、ポツダム大学) におけるポスター発表および日本実験言語学会 2016 年度大会 (2016 年 9 月 2 日、室蘭工業大学) における口頭発表をもとに、参加者からいただいた質問や助言をふまえて文章化したものである。

†筑波大学人文社会系

¹ 「ユニット」は形態素に相当する言語単位であるが、本実験が注目する潜時では意味を含めた形態素処理がなされているとは考えられないため、「形態素」という用語を避けて「ユニット」と仮称している。

表 1：被験者および実験日

実験日	2013/07/11	2013/10/10	2013/11/14	2013/11/14
出身地	イスラエル	イスラエル	イスラエル	イスラエル
言語形成地	イスラエル	イスラエル	イスラエル	イスラエル
性別	男性	男性	女性	男性
利き手	右手	右手	右手	右手
年齢（実験時）	33 歳	33 歳	31 歳	34 歳

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 6R12 型生体アンプで、フィルタ 0.5Hz～60Hz、感度 $50 \mu\text{V}/\text{fs}$ 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 2）。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。

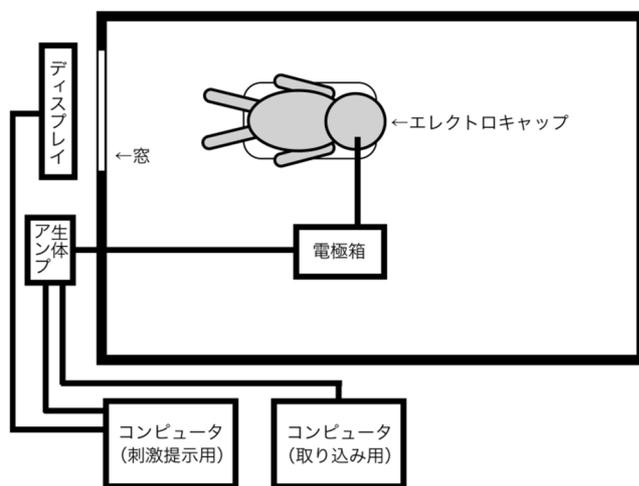
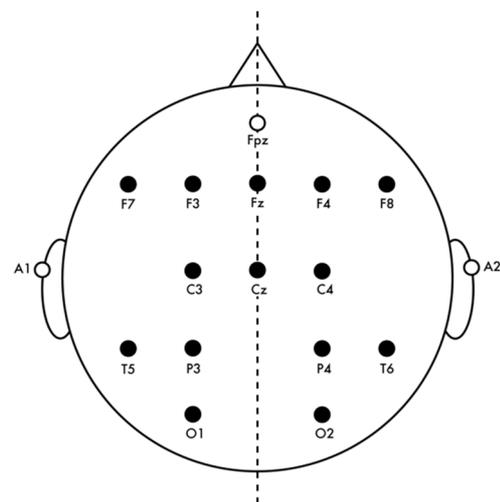


図 1：本実験における装置配置図

図 2：本実験用の電極配置図²

3.3 刺激

実験に使用した視覚刺激は表 2 の通りである。A2 と A1、A3 と A4、B2 と B1、B と B4 はそれぞれ同一の単語を表記したものであるが、それぞれ前者が母音記号付きの表記、後者

² Fpz はボディーアース、A1・A2 は耳朶による基準電極。

が母音記号なしの表記となっている。したがって、これらは言語的には同一だが、視覚的に異なるペアだと言える。それに対し、A1 と A4、B1 と B4 はそれぞれ視覚的に同一だが、言語的に異なるペアとなっている。

表 2：視覚刺激一覧

番号	刺激	読み	意味	母音記号	ユニット数
A1	אגס	/agas/	梨	なし	1
A2	אָגס	/agas/	梨	あり	1
A3	אָגס	/ages/	I make ... rude	あり	2
A4	אגס	/ages/	I make ... rude	なし	2
B1	ישב	/yafav/	he sat	なし	1
B1	יֵשֵׁב	/yafav/	he sat	あり	1
B3	ישב	/yefev/	he will sit	あり	2
B4	ישב	/yefev/	he will sit	なし	2

文字列は Lucida Grande フォントの 500 ポイントで表示した。A1 と A4 および B1 と B4 の視覚刺激はそれぞれ同一であるが、ユニット数が異なる。A1 と B1 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、A4 は /a/ (1 人称単数主格) と /ges/ (動詞の語幹)、B4 は /ye/ (1 人称単数主格) と /jev/ (動詞の語幹) という 2 つのユニットによって構成される。

4. 結果

言語的にも視覚的にも異なり、両方の処理が重畳する 2UP を除いて波形を比較してみると、図 1、図 2 の通りである。

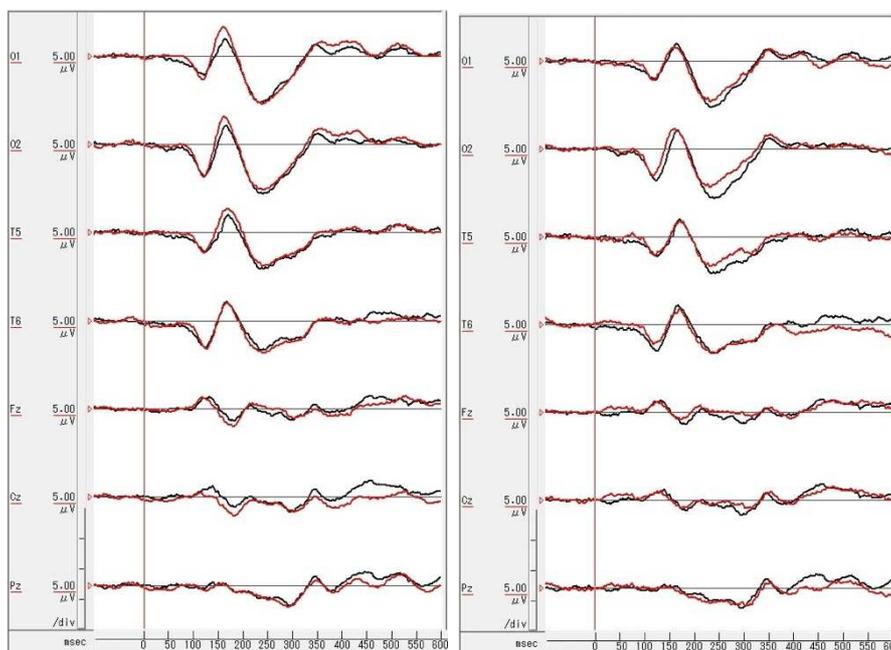


図 1：GA の波形(黒が 1U、赤が 1UP)

図 2：GA の波形 (黒が 1U、赤が 2U)

母音記号付きの刺激は母音記号なしの刺激に比べて N170 の電位が高かったが、ユニット数の影響はこの時間帯では限定的であった (図 3、図 4)。他方、1 ユニットの刺激は 2 ユニットの刺激に比べて P250 の電位が高かったが、母音記号の影響はこの時間帯では限定的であった (図 5、図 6)。

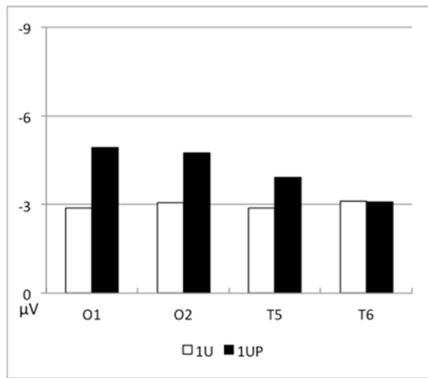


図 3 : N170 の電位(1U, 1UP)

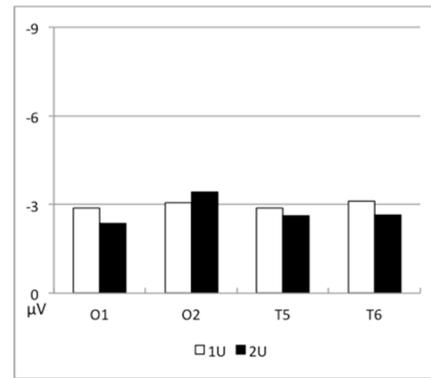


図 4 : N170 の電位(1U, 2U)

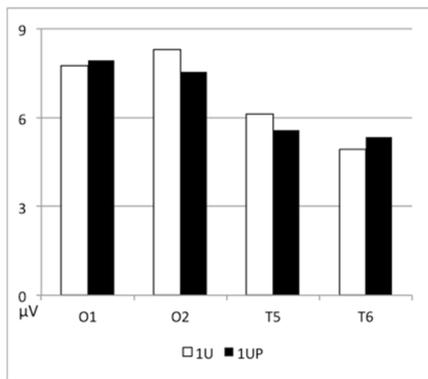


図 5 : P250 の電位(1U, 1UP)

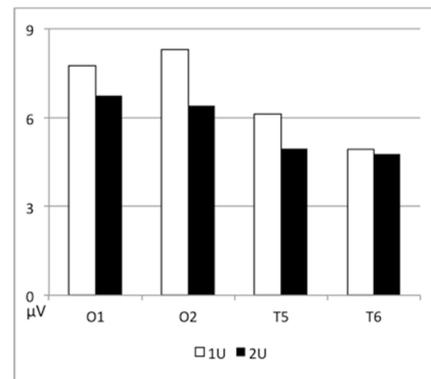


図 6 : P250 の電位(1U, 2U)

表 3 : N170 の電位(μV)

	O1	O2	T5	T6
1U	-2.88	-3.07	-2.88	-3.11
1UP	-4.94	-4.75	-3.91	-3.09
2U	-2.37	-3.42	-2.61	-2.64
2UP	-3.78	-3.43	-3.72	-2.26

表 4 : P250 の電位(μV)

	O1	O2	T5	T6
1U	164	166	170	166
1UP	160	160	170	168
2U	160	160	170	170
2UP	164	164	178	166

表 5 : N170 の潜時(ms)

	O1	O2	T5	T6
1U	7.75	8.29	6.12	4.92
1UP	7.95	7.56	5.58	5.35
2U	6.75	6.41	4.96	4.78
2UP	8.4	8.43	5.66	6.18

表 6 : P250 の潜時(ms)

	O1	O2	T5	T6
1U	234	240	234	238
1UP	238	242	240	242
2U	232	232	232	244
2UP	232	240	240	248

5. 考察

1U と 1UP は言語的に同一だが、視覚的に異なる。他方、1U と 2U は視覚的に同一だが、言語的に異なる。したがって、1U と 1UP の差分は視覚情報処理の違いによるものであり、1U と 2U の差分は言語情報処理の違いを反映したものだと考えられる。このような観点から池田ほか(2015)の実験結果を再考してみると、ヘブライ文字の黙読に関しては、①170~250ms という

早い時間帯から視覚情報と言語情報とが別々に処理され、②この時間帯においては視覚情報処理が言語情報処理に先行することが示唆される。

母音記号付きの刺激の方が母音記号なしの刺激に比べて N170 の電位が高くなるという事実は、すでに Bar-Kochva (2011) でも報告されており、先行研究と符合する結果だと言える。実際、母音記号が付くと処理すべき視覚情報が約 2 倍となり、脳神経活動に対する負荷が増大するのは頷ける³。

これに対し、1 ユニットの刺激の方が 2 ユニットの刺激に比べて P250 の電位が高くなるという結果は、一見すると不可解である。処理すべきユニット数が増えているのに、電位が減少するのはなぜだろうか。ひとつの可能性として、次のような説明が可能であろう。すなわち、3 文字 1 ユニットの刺激をメンタルレキシコンとマッチングするには、ヘブライ文字が 22 文字あるため、理論上 $22 \times 22 \times 22 = 10648$ 通りの可能性を網羅する必要がある。それに対し、3 文字 2 ユニットの刺激は 1 文字のユニットと 2 文字のユニットからなるため、 $22 + 22 \times 22 = 506$ 通りの可能性を網羅すればすむことになる。そう考えると、3 文字 1 ユニットのの方が処理の負荷が高くても不思議ではない。

6. おわりに

池田ほか (2015) の実験結果を 2UP を除外して再考し、視覚処理の影響と言語的処理の影響の単離を試みた結果、新たな解釈の可能性が示唆された。このうち、N170 については先行研究とも符合する結果であり、異論の余地はないであろう。P250 に関しては、4 文字 1 ユニット、4 文字 2 ユニット、4 文字 3 ユニットの刺激を用いるなどして上記の解釈と矛盾しない結果が得られるかどうかを追験する必要がある。

末筆ながら、本稿は 2010 年に城生佰太郎先生の手ほどきで筆者がはじめて挑んだ脳波実験のひとつの総括である。その間、多くの有益な助言をくださった城生佰太郎先生に心から感謝の意を表するとともに、先生のますますのご活躍を祈念するものである。

【参考文献】

- Bar-Kochva, I. (2011) "Does processing a shallow and a deep orthography produce different brain activity patterns? An ERP study conducted in Hebrew." *Developmental Neuropsychology* 36(7), 933–938.
- Bentin, S., Y. Mouchetant-Rostaing, M. H. Giard, J. F. Echallier, & J. Pernier (1999) "ERP manifestation of processing printed words at different psycholinguistic levels: Time course and scalp distribution." *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 235–260.
- Katz, L. & R. Frost (1992) "The reading process is different for different orthographies: The orthographic depth hypothesis." In R. Frost & L. Katz (eds.), *Orthography, Phonology, Morphology, and Meaning*, Amsterdam, 67-84.
- Korinth S. P., Z. Breznitz (2014) "Fast and slow readers of the Hebrew language show divergence in brain response ~200 ms post stimulus: An ERP study." *PLoS ONE* 9(7): e103139.
- 池田潤、桐越舞、川邊貴英 (2014) 「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」『実験音声学・言語学研究』第 6 号, 1-10.

³ 文字に対する N170 の電圧に関しては不明な点が多いが、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、顔の画像を上下反転させたり、半分に切つてずらしたりすると、顔と認知できる範囲なら、N170 の電圧が上がるということが知られる。これをふまえ、筆者は池田ほか (2014, n.16) において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。

池田潤、桐越舞、川邊貴英 (2015) 「ヘブライ文字黙読課題における N170 と P250」『実験音声学・言語学研究』第 7 号, 65-74.

ERPs elicited by silent reading of Hebrew letters revisited

Jun IKEDA[†]

Having recorded event-related potentials (ERPs) while four native speakers of Hebrew silently read the eight stimuli in Table 2, the present writer proposed in his preceding paper (Ikeda et al. 2015) that the difference between N170 and P250 reflects a physical quantity (with or without vowel points) and a cognitive quantity (the number of units) of a given visual stimulus. The present paper aims to revisit this experiment, and to propose a different interpretation of the same results.

We noticed that the stimuli with vowel points produced significantly larger amplitude at N170 (see Bentin et al. 1999) than those without vowel points as already reported by Bar-Kochva (2011), while the influence of the number of linguistic units was limited at this time course (Figs. 3 and 4). On the other hand, the stimuli with a single linguistic unit produced significantly larger positive amplitude around 250 msec (labeled tentatively as P250 here) than those with two linguistic units, while the influence of the vowel points was limited at this time course (Figs. 5 and 6).

These results would rather suggest that visual information and linguistic information in Hebrew are processed separately as early as 170 through 250 msec and that the visual processing precedes the linguistic processing within this time window.

[†]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

