

ひらがな・カタカナ文読解におけるクラウディング現象の検討 ～眼球停留関連電位の事例検討から～

関口真央¹⁾²⁾，桜庭歩実²⁾，青柳閣郎³⁾，軍司敦子²⁾

Visual crowding affects reading comprehension of hiragana and katakana texts -a case study of eye-fixation-related potentials-

Mao SEKIGUCHI¹⁾²⁾，Ayumi SAKURABA²⁾，Kakurou AOYAGI³⁾，Atsuko GUNJI²⁾

要旨 日本語文読解における脳機能を客観的に評価する試みとして、注意あるいは視野に障害のある2名の fixation-related potentials (FRP) について対照群との比較から検討した。ひらがな条件、および、自立語を片仮名で、それ以外を平仮名で表記したカタカナ条件について、文節間スペースの有無によって全4条件を設定し、文章の黙読における脳波を計測した。その結果、文中の単語に注目した時点を基準に算出された CNV 成分では対照群との違いがみられなかったが、P3b 成分には、注意や視野に困難さがある場合に形成不良が認められた。脳波解析による神経生理学的な検討によって、個々の注目行動や本人の困っているプロセスを明らかにできる可能性を示唆した。

キーワード 読字、クラウディング現象、注意、視野、眼球停留関連電位、P3b 成分

1. はじめに

文章を読むときには、意味を持つ文字列をとらえようとして、傍中心窩における探索やチャンキングといった視覚情報のまとまり処理をお

こなっている。一方で、文字の提示方法によっては視覚的混雑(クラウディング)が発生して視覚情報処理が遅延することから (Veinovic and Zdravkovic, 2015)、クラウディング現象は読み障害の一因になり得ると考えられている。したがって、その現象を抑制するメカニズムを探ることが、読みの困難さを軽減する支援方法の開発につながる可能性がある。

1-1. 読字におけるクラウディング現象

クラウディング現象とは、単独提示されたときに弁別が容易なターゲット刺激が、ターゲット刺激の属性とは相反するフランカー刺激に囲まれて提示された場合に、弁別しにくくなる現象のことである (Lavrenteva, 村上, 2021)。これによって、大脳の視覚野 (V1~V4) では、意識的な知覚と事物の認知が抑制されることが明らかとなった (Whitney and Levi, 2011)。

これまで、視覚情報の混雑性は、文字や記号、表情の認知処理の遅延や妨げに影響することが報告されている。Lavrenteva と村上 (2021) は、非文字刺激のフランカー課題遂行時にクラウディングが生じることによって、はっきりした形の知覚ができなくなる現象を観察した。Fang and He (2008) は、周辺視野の情報が過密になることによりターゲットの知覚が低下することを fMRI 研究により明らかにした。すなわち、クラウディング現象を抑制することで、より効率

1) 横浜市立西前小学校

2) 横浜国立大学教育学部

3) 山梨県立あけぼの医療福祉センター小児科

的な視覚情報処理につながり得ることが期待できる。

同様に、文章読解においてもクラウドディング現象が注目行動の解析から検討されており、とりわけ英文では、空間の知覚が語彙処理に先行することから、単語間スペーシングが文章のクラウドディング現象を抑制することが示唆された (Degno et al., 2019)。

1-2. 欧米文化圏の読字におけるクラウドディング現象の影響

欧米文化圏において、文章の読みにおける注目行動と読み処理の過程は、眼球運動と脳活動の同時記録によって明らかにされつつある。

Sheridan et al. (2013) は、単語間のスペースを乱数に置き換えて単語の区切りを不明瞭にした文章の読みにおいて、単語識別が遅れることを報告した。Veinovic and Zdravkovic (2015) は、文字と記号を混雑させて提示した場合に、意味のある文字のまとまりを瞬時に認識しようとするサッケードが阻害され、その結果として文字識別の効率が下がることを示唆した。Weiss et al. (2016) によると、文字間隔が狭まることによって視覚的混雑度が上昇すると、文章が提示された後の 230-265 ms で右後頭側頭領域における脳波の陰性成分と、345-380 ms で頭頂領域における陽性成分および左後頭側頭領域の陰性成分が増大することが観察された。これは、文章記述における空間構造特性が視覚認知や判断の過程により鋭敏に反映されたことを示唆するものであった。Degno et al. (2019) は、横書き 1 行で書かれた文の読解課題中に注視領域と脳波を同時に測定し、流暢な読みにおける単語間スペーシングの有効性を示した。

しかし、日本語文章の読みについて神経生理学的に検討した研究は希少である。日本語には、音素を表す平仮名と片仮名、音素とともに意味を表す漢字という 3 つの文字種があるため、アルファベットに代表される欧米文化圏の言語表

記と異なり、スペースを設けることによって意味ある綴りを表すのではなく、文字種に注目することによって文字のまとまりを検出しやすい表記となっている。ただし、和文でも文節間にスペースを設けて表記する「分かち書き」が採用されることがある。例えば、小学校国語教科書では、2 年生 12 月期の学習範囲まで文章に段階的な分かち書きが採られている。これは、漢字や句読点などの学習が未成熟な段階では、ひらがなのみで書かれた文から意味のまとまりを捉えることが容易ではないことへの支援の一つとして考えられる。個人の学習状況によっては、学年が進んだ後もしばらく文読みの困難さを示すことから、個々に合った文読み環境を検討するためにも、和文における神経生理学的な根拠を明らかにしていく必要がある。

一方で、日本語でも単語の読みに関連した検討は多く重ねられてきた。それらは、読みの方略や困難さの病態を解明するため、限局性学習症や注意欠如多動性症 (attention deficit hyperactivity disorder: AD/HD) のある小児や成人を対象としていることが多い。

1-3. 読字困難におけるクラウドディング現象の影響

限局性学習症のなかでも、読字の障害として単語の読みの正確さや流暢性に問題があるものがディスレクシアとして定義される (高橋ら, 2014)。Goto et al. (2008) は、定型発達児よりもひらがな文の音読時間が著しく長く、誤読数の多い例について、2, 3 文字で構成される文字数の少ない単語の音読にかかる時間は、文字数の多い単語と比べて短縮することを報告した。したがって、読みの困難さによって、音読に要する言語処理の過程が長く反映されると解釈されている (稲垣, 2010)。さらに、発達性ディスレクシアでは、文字と音の対応関係の習得が困難で、文字から音への変換が不正確で時間がかかり、意味の無い文字綴りである非単語での読み

につまづきを認めることが指摘された (関, 2017). 併せて, 逐次読みが長く続き, 単語をまとまりで読むことに困難が生じるために, 有意味単語であっても読みの獲得が定型発達児に比べ遅れるとしている. すなわち, ディスレクシアにおける文読みの困難さは, 文字と音素を対応させる音韻処理だけでなく, 意味のある文字綴りをまとまりとして見出す視覚情報処理に特異性あるいは脆弱性が背景にあることが推察されている.

なお, 読字障害児の 20-25%は AD/HD を併存し, AD/HD 児の 10-50%は読字障害を併存するといわれている (Beitchman and Young, 1997). 岡ら (2012) は, AD/HD 児を対象に読み課題の実験を行ったところ, 読字障害の主訴がない場合でも約 20%に音読時間の延長や誤読などの問題があることを報告した.

AD/HD の特徴として, 視覚情報への注意持続の困難さが原因となり, 周辺視での視覚入力に制限があることも示唆されている (丸久ら, 2016). その要因として, 平田ら (2012) は, AD/HD のある人では健常成人と比較して, 大脳皮質, 特に前頭前野皮質から頭頂葉にかけて発達に遅れがあることや, 前頭葉を含めた脳の広域で脳容積が低下していること, 前頭前野や頭頂葉, 小脳に至る各部位での脳活動が低下していることを報告した. 頭頂葉は体性感覚, 視覚, 運動, 言語, 空間認知, 注意などの脳機能に関与した部位であることから, AD/HD のある人の読み困難には, 実行機能を司る前頭葉を中心に, 頭頂葉を含む脳領域間ネットワークの機能状態が影響していることが考えられている.

以上のように, クラウディング現象に着目すると, ディスレクシアや AD/HD の文章読解における困難さには, 文字表記の混雑性により, 意味を持つ文字のまとまりに衝動的に注目するサッケードが阻害されることや, 意味のある文字のまとまりを見出すチャンキングといった行動

が阻害されることが背景として指摘できる. これらの状態はいずれも文読みの困難さに結びつくことから, 語彙獲得を遅延させたり読み効率を下げたりすることにも及ぶ恐れがある. したがって, 読みの困難さにおける視覚情報処理方略の点でも, 神経生理学的な検討を重ねることが求められているといえよう.

1-4. 目的

そこで本研究では, 日本語文章に単語間のスペーシングを施した条件や, カタカナ交じり文のように異なる文字種によって構成された条件で文章を読むときの注視領域と脳波の同時計測を, 注意あるいは視野の障害のある人を対象に実施し, 対照群との比較から文読みの特徴とクラウディング現象の影響を個々に可視化することができるか検討する.

文章を読んでいるときに記録された脳波は, 注目開始に同期した時点を基準に加算平均処理を施して, 事象関連電位 (Event-Related Potentials: ERP) の一つである眼球停留関連電位 (Eye-Fixation Related Potential: EFRP) を算出する (Yagi, 1993). そのうち, おもに予期や準備状態を反映した随伴陰性変動である CNV 成分 (Contingent Negative Variation) (Walter et al., 1964) と, 弁別や判断の過程を反映した陽性成分である P3b (P300) 成分 (Sutton et al., 1965) の解釈から神経生理学的エビデンスとしての解釈につなげる.

2. 方法

2-1. 研究対象者

注意あるいは視野に障害のある大学生 2 名 (男性, 右利き) を対象とした (Case 1, Case 2). 生活年齢は 21.9 歳 (SD=0.6) であった. Case 1 は, 小児神経科専門医による AD/HD の診断があり, 本研究参加時点において成人 ADHD の重症度を把握するための評価尺度として使用される Conners' Adult ADHD Rating

Scales (CAARS™) 日本語版の T 得点が臨床域であった。Case 2 は、眼科専門医から両網膜色素変性症による夜盲および求心性視野狭窄が報告されているものの、視野 10 度以内の画像識別に困難がないことを確認した。なお、CARRS の得点は正常範囲 (69 点未満) であった。

対照群には、健康な右利きの大学生 14 名 (男性 3 名, 女性 11 名) を研究対象者とし、生活年齢の平均は 21.9 歳 (SD=0.6) であった。なお、いずれも CARRS の得点は正常範囲であった (42.9±20.6 点)。

研究実施にあたって、全ての研究対象者において裸眼あるいは矯正視力が 0.7 以上であることを確認した。

2-2. 刺激

刺激は、17 インチディスプレイ (precision7760, Dell 社製) の画面中央に横書き 1 行でつづることのできる日本語文とした。文字フォントは UD デジタル教科書体 U-B とし、背景灰色 (R:128, G:128, B:128) に白色の文字で、Tobii Pro Lab 1.102.15986 (トビーテクノロジー社) を用い、研究対象者の眼前 50 cm に提示した。

刺激に用いた文章は、横浜市内の小学 5, 6 年生が使用する理科・社会の教科書 (理科:新興出版啓林館, 社会:教育出版) に掲載されている単語を組み合わせて作成し、計 144 種類の文章を刺激として使用した。

文字の特性と文節間スペースの有無によって区別される 4 条件を設け、条件別の 4 ブロックに分けてそれぞれ 36 種類の文章を 1 回ずつ提示した。ひらがな表記で、文節間にスペースのある文刺激をひらがな有条件、スペースのない文刺激をひらがな無条件とした。また、助詞や助動詞等のみをひらがな、独立語をカタカナで表記した文刺激のうち、文節間に全角 1 文字分のスペースを設けた条件をカタカナ有条件、スペースのない条件をカタカナ無条件とした。刺激の

提示順は参加者間で疑似ランダムに設定した。

併せて、参加者の覚醒や課題への取組状況を確認するため、疑似ランダムなタイミングで、刺激提示の後に刺激文の内容に関する問いを出し (確認問題)、○か×のどちらかを口頭で回答してもらった。確認問題の発生率は試行数の 25% (各条件で 36 試行中 9 試行) であった。

2-3. 手続き

各条件の刺激 2~3 試行と確認問題 2 試行で構成された練習を 1 ブロックで実施し、その後計測対象の 4 ブロックを実施した。ブロックの実施順は参加者間で疑似ランダムとした。また、参加者の申し出により適宜、ブロック間に休憩をとった。

2-4. 記録

脳波は、国際 10-20 法に基づく 10 部位 (PO7, O1, Oz, O2, PO8, F3, Fz, F4, Cz, Pz) により鼻尖基準にて脳波計 (TOKAI Orb TO601, 東海光学株式会社) を用いて導出した。サンプリング周波数は 1000Hz とした。

注視領域は、参加者が着用した Tobii グラス (Tobii Pro Glasses3, トビーテクノロジー社) によって記録した。それを、刺激提示と視線計測制御のソフトウェア (Tobii Pro Lab, トビーテクノロジー社) を搭載した PC とつなぎ、トリガー信号を脳波測定用 PC (Mobile Acquisition, TOKAI Orb) に送信することで、脳波と注視領域を同時計測した。

2-5. 解析

記録された脳波データには、マルチモーダル解析プログラム EMSE (Source Signal Imaging Inc.製) を用いた。CNV 成分の検出には 0.01-60Hz, P3b 成分の検出には 0.1-30Hz のデジタルフィルタ処理を施した。その後、刺激呈示開始時点を 0 ms として、前者のデータでは刺激の呈示前 1700 ms から提示開始後 1000 ms までを、後者のデータは刺激の呈示前 300 ms から提示開始後 100 ms までを条件毎かつ研究対象者毎に加算

平均処理した。ベースラインはそれぞれ、-1700~-1500 ms, -300~-100 msとした。なお、体動によるアーチファクト混入により加算回数の少ない3名のデータを分析から除外したため、残りの11名のデータから総加算平均波形を作成した。

次に、加算平均波形の CNV 成分として-400-0 ms間、P3b 成分として 435-635 ms間の平均振幅を研究対象者毎および記録部位毎に検出した。なお、CNV 成分は、全研究対象者の平均振幅が最大を示した F4 を解析対象とした。P3b(P300) 成分は、解剖学的根拠により最大振幅を示す Pz とその次に最大振幅を示す Cz を解析対象とした。

対照群は、対応のある因子同士の2要因分散分析による検定をおこなった。文字種とスペースの有無間に対応関係のあった項目については、下位検定として1変量の反復測定を行った。

3. 結果

3-1. 対照群の ERP 成分 (n=11名)

CNV 成分の振幅は、F4 において、ひらがな有条件で $-0.7 \pm 2.2 \mu V$ 、ひらがな無条件で $-0.1 \pm 2.0 \mu V$ 、カタカナ有条件で $-0.3 \pm 1.8 \mu V$ 、カタカナ無条件で $0.4 \pm 2.1 \mu V$ であった。統計検定をおこなったところ条件間に有意差はなかった(図1)。

P3b 成分の振幅は、Cz において、ひらがな有条件で $-0.2 \pm 2.0 \mu V$ 、ひらがな無条件で $0.7 \pm 1.2 \mu V$ 、カタカナ有条件で $0.9 \pm 1.3 \mu V$ 、カタカナ無条件で $-0.5 \pm 0.8 \mu V$ であった(図2, 3)。Pz では、ひらがな有条件で $-0.1 \pm 2.3 \mu V$ 、ひらがな無条件で $0.8 \pm 1.5 \mu V$ 、カタカナ有条件で $1.4 \pm 1.5 \mu V$ 、カタカナ無条件で $-0.3 \pm 1.1 \mu V$ であった。統計検定をおこなったところ、Cz では、文字とスペース間に交互作用が認められた($p < .05$)。Pz では、文字とスペースの交互作用に差のある傾向があり($p = .055$)、下位検定によると、ひらがな有

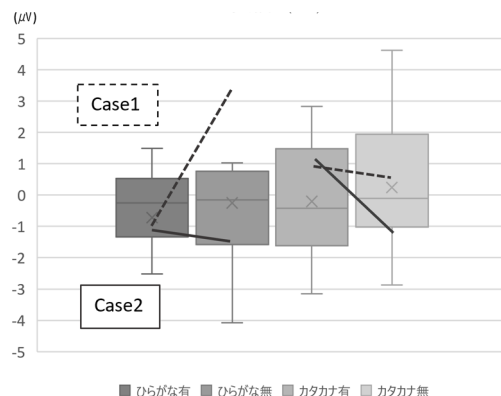


図1 前頭部 (F4) における CNV 成分の振幅
対照群の平均振幅と標準偏差、および、Case1, Case2 の振幅を示す。

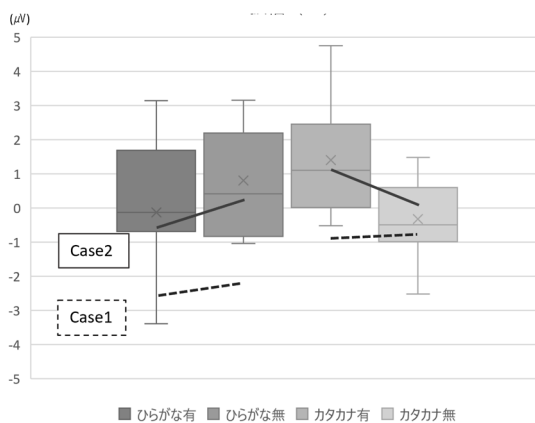
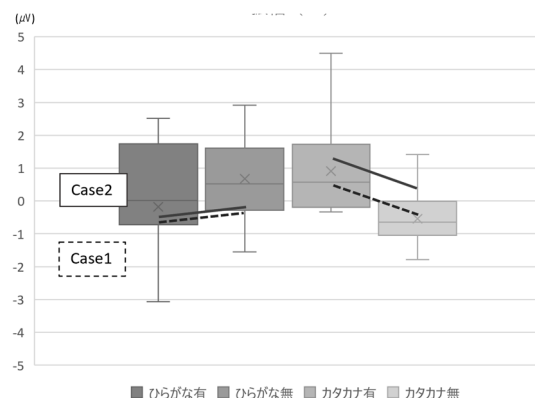


図2 中心頭頂部における P3b 成分の振幅
対照群の平均振幅と標準偏差、および、研究対象者2名 (Case 1, Case 2) の振幅を示す。
上段: Cz, 下段: Pz

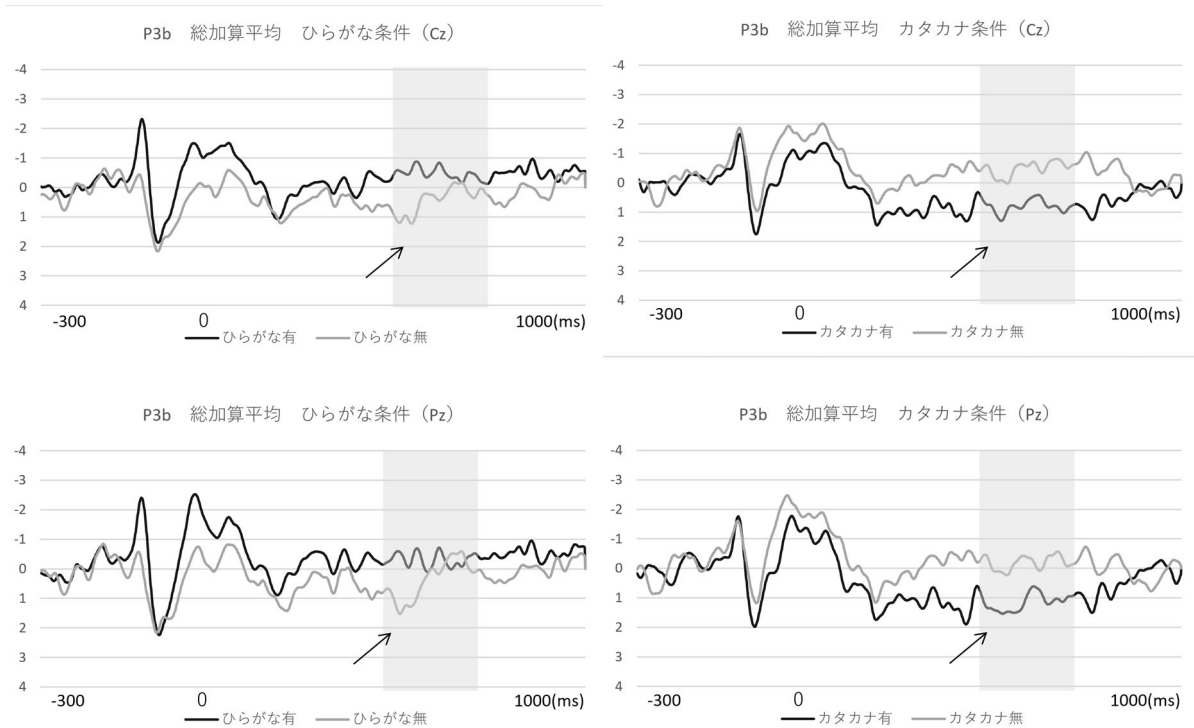


図3 中心頭頂部 (Cz, Pz) における総加算平均波形 (対照群: n=11)

矢印は P3b 成分を示す。

件とカタカナ有条件間で差のある傾向を示した ($p=.056$).

P3b 成分の潜時は, Cz において, ひらがな有条件で 531.7 ± 59.9 ms, ひらがな無条件で 548.8 ± 26.2 ms, カタカナ有条件で 533.5 ± 52.5 ms, カタカナ無条件で 524.5 ± 50.4 ms であった. Pz では, ひらがな有条件で 537.0 ± 54.2 ms, ひらがな無条件で 550.7 ± 37.1 ms, カタカナ有条件で 546.6 ± 58.4 ms, カタカナ無条件で 544.9 ± 43.4 ms であった. 統計検定をおこなったところ条件間に有意差はなかった.

3-2. Case 1

CNV 成分の振幅は, F4 において, ひらがな有条件で $-1.1 \mu V$, ひらがな無条件で $3.4 \mu V$, カタカナ有条件で $1.0 \mu V$, カタカナ無条件で $0.7 \mu V$ であった (図 2, 4). ひらがな無条件の値は対照群の平均値の $-1.7SD$ に相当したが, それ以外の条件では $\pm 1SD$ 以内であった.

P3b 成分の振幅は, Cz ではひらがな有条件で

$-0.4 \mu V$, ひらがな無条件で $-0.2 \mu V$, カタカナ有条件で $0.3 \mu V$, カタカナ無条件で $-0.4 \mu V$ であった. Pz ではひらがな有条件で $-2.5 \mu V$, ひらがな無条件で $-2.1 \mu V$, カタカナ有条件で $-1.0 \mu V$, カタカナ無条件で $-0.9 \mu V$ であった. Cz の値は対照群の平均値の $\pm 1SD$ 以内であったのに対し, Pz では $-1SD$ 以下を示した条件もあった (ひらがな有条件: $-1.0SD$, ひらがな無条件: $-1.9SD$, カタカナ有条件: $-1.7SD$, カタカナ無条件: $-0.5SD$).

P3b 成分の潜時は, Cz ではひらがな有条件で 608.0 ms, ひらがな無条件で 517.0 ms, カタカナ有条件で 594.0 ms, カタカナ無条件で 595.0 ms であった. Pz ではひらがな有条件で 608.0 ms, ひらがな無条件で 555.0 ms, カタカナ有条件で 593.0 ms, カタカナ無条件で 592.0 ms であった. Cz (ひらがな有条件: $1.3SD$, ひらがな無条件: $-1.2SD$, カタカナ有条件: $1.2SD$, カタカナ無条件: $1.4SD$) および Pz (ひらがな有条件: $1.3SD$,

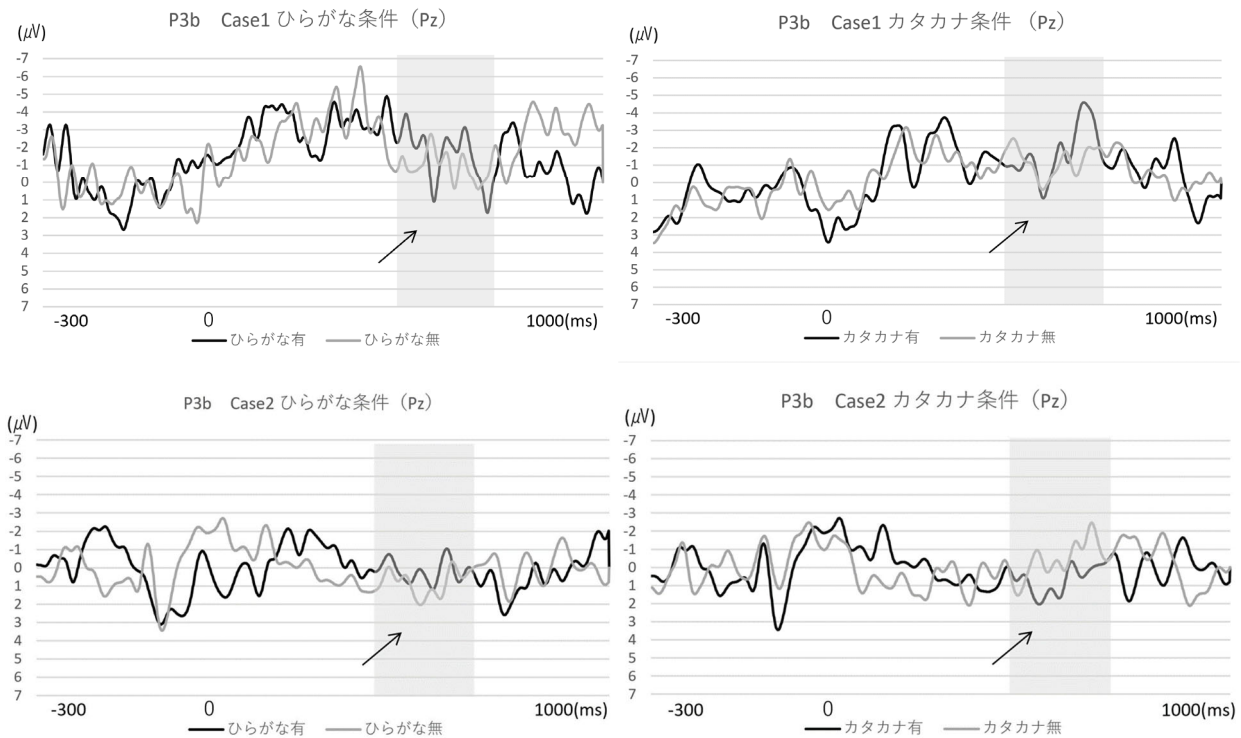


図4 頭頂部 (Pz) における P3b 成分の加算平均波形 (上段: Case 1, 下段: Case 2)
矢印は P3b 成分を示す。

ひらがな無条件:0.1SD, カタカナ有条件:0.8SD, カタカナ無条件:1.1SD) では ± 1 SD を超えた条件もあった。

3-3. Case 2

CNV 成分は, F4 における振幅がひらがな有条件で $-1.0 \mu\text{V}$, ひらがな無条件で $-1.6 \mu\text{V}$, カタカナ有条件で $1.2 \mu\text{V}$, カタカナ無条件で $-1.1 \mu\text{V}$ であった (図 2, 4)。各条件における振幅は, 対照群の ± 1 SD 以内であった。

P3b 成分の振幅は, Cz ではひらがな有条件で $-0.3 \mu\text{V}$, ひらがな無条件で $-0.2 \mu\text{V}$, カタカナ有条件で $1.5 \mu\text{V}$, カタカナ無条件で $0.4 \mu\text{V}$ であった。Pz ではひらがな有条件で $-0.5 \mu\text{V}$, ひらがな無条件で $0.2 \mu\text{V}$, カタカナ有条件で $1.1 \mu\text{V}$, カタカナ無条件で $0.1 \mu\text{V}$ であった。いずれの値も対照群の平均値の ± 1 SD 以内であった。

P3b 成分の潜時は, Cz ではひらがな有条件で 448.0 ms , ひらがな無条件で 540.0 ms , カタカナ

有条件で 570.0 ms , カタカナ無条件で 524.0 ms であった。Pz ではひらがな有条件で 495.0 ms , ひらがな無条件で 600.0 ms , カタカナ有条件で 572.0 ms , カタカナ無条件で 524.0 ms であった。Cz の値は対照群の平均値の ± 1 SD 以内であったのに対し, Pz では -1 SD 以下を示した条件もあった (ひらがな有条件: -0.8 SD, ひらがな無条件: 1.3 SD, カタカナ有条件: 0.4 SD, カタカナ無条件: -0.5 SD)。

4. 考察

行動開始に先行して穏やかに陰性へ変動する CNV は, 本研究では対照群においても振幅は小さく, それほど顕著に賦活されることはなかった。単語の読みに関連して CNV が観察された先行研究では, 予測が強く働いたプライム刺激によって CNV が強く惹起されたことが報告されている (Holcomb, 1988, 曾根ら, 2008)。本研究のパラダイムは, 命令刺激 (S2) に相当する文

章刺激提示に先行する警告刺激 (S1) は、課題遂行の準備状態のみを予告するに留まり S2 における語彙処理などの予測にそれほど負荷がかかるものではない。また、プライミングパラダイムの形式は用いられているものの、左視野の固視点から右視野にある文章中の単語へ注目する行動は、習慣的行動の一部である可能性もある。そのような背景が、CNV の低振幅化につながったのではないかと考えている。

一方で、単語の識別等を反映する P3b 成分はいずれの条件においても明瞭に検出することができた。Holcomb (1988) も、CNV を惹起するプライミングパラダイムを用いた脳波計測において、S2 刺激に対する P3b を検出している。本研究ではとりわけ、ひらがな有条件に比べてカタカナ有条件で振幅が増大した。カタカナ有条件は、独立語がカタカナで助詞・助動詞がひらがなで表記されるため文字種の区別から意味を持つ文字のまとまりを見出しやすく、さらにスペースを設けることによって文字表記の混雑性が緩和される。すなわち、クラウドイング現象の抑制が P3b の増大へ反映されたことがうかがえた。

注意に困難さを示す例においても (Case 1)、概ね対照群の平均潜時付近で P3b 成分が観察されている。すなわち、文読みにおける準備状態に大きな後れがなく注目行動が成功する場合は、対照群と同様の視覚探索ストラテジーが用いられている可能性がある。一方で、眼球運動等のアーチファクト等により解析対象試行数が減少したこともあり、波形の全般的な陰性偏位によって成分の形成はやや不明瞭であった。このことは、本研究の加算平均波形には反映されないものの、文読みに準備状態の大きな負荷がかかっていたことを示唆するかもしれない。

視野に障害のある例では (Case 2)、独立語がカタカナで助詞・助動詞がひらがなで表記したうえにスペースを付したカタカナ有条件のみ P3b が明瞭に認められた (図 4)。他の条件に

おいても、提示された刺激文を正確に読み取れているか確認問題にて文章の内容を問うたところ、成績良好であったことから、他の条件における P3b 成分の形成不良は、各単語を探索するストラテジーに時間的なバラツキが大きく同期性が低かったことが考えられる。すなわち、文字表記の混雑性により、読解の結果には反映されないものの、視覚探索における負荷は大きい恐れがあることが脳波解析からうかがえた。

以上のことから、神経生理学的な検討によって、日本語の文読みの特徴とともに、個々の読み困難を客観的に把握する指標としてのエビデンスを提案することができたといえる。今後は、データの蓄積により、読み困難の要因に沿った客観的指標を見出していく必要があると考えている。

謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費 (21H00887) による助成を受けました。本研究に参加して下さった研究対象者の方々、および、実験の準備及び実施にご協力くださった犬塚葵子氏に心より御礼申し上げます。

文献

- [1] Beitchman, H. J., and Young, R. A. Learning disorders with a special emphasis on reading disorders: a review of the past 10 years. *Journal of the American Academy of Child Adolescent Psychiatry*, 1997. 36: 1020-1032.
- [2] Degno F, Loberg O, Zang C, Zhang M, Donnelly N, and Liversedge S. A coregistration investigation of inter-word spacing and parafoveal preview: Eye movements and fixation-related potentials. *PLoS One*, 2019. 14(12): e0225819
- [3] Fang F, and He S. Crowding alters the spatial distribution of attention modulation in human

- primary visual cortex. *Journal of Vision*, 2008. 8: 1-9.
- [4] Goto T, Kumoi M, Koike T, and Ohta M. Specific Reading Disorders of Reading Kana (Japanese Syllables) in Children With Learning Disabilities. *Association of Special Education*, 2008. 45(6): 423-436.
- [5] 平田裕子, 大原文裕, 松井昌子. AD/HD の神経生理学および画像研究に関する検討—Atomoxetine の脳機能への影響—. *Therapeutic Research*, 2012. 33: 1361-1369
- [6] Holcomb, J. P. Automatic and attentional processing: An event-related brain potential analysis of semantic priming. *Brain Lang*, 1988. 35: 66-85
- [7] 稲垣真澄. 特異性発達障害診断治療のためのガイドライン—分かりやすい診断手順と支援の実践—. *診断と治療者*, 2010.
- [8] Lavrenteva S, 村上郁也. 非文字刺激を用いたクラウドニングによる時間知覚歪みのメカニズムの検討. *VISION*, 2021. 33(2): 77-80.
- [9] 丸久友理子, 岡真由美, 星原徳子, 金永圭祐, 森壽子, 河原正明. 注意欠陥多動性障害 (ADHD) 児における眼球運動が読字に及ぼす影響. *日本視能矯正学会*, 2006. 45: 79-86.
- [10] 岡牧郎, 竹内章人, 諸岡輝子, 花房香, 萩野竜也, 大塚頌子. 広汎性発達障害と注意欠如/多動性障害に合併する読字障害に関する研究. *脳と発達*, 2012. 44: 378-386.
- [11] 関あゆみ. LD の脳機能. *児童青年精神医学とその近接領域*, 2017. 58(2): 217-226.
- [12] Sheridan H, Rayner K, and Reingold, M. E. Unsegmented text delays word identification: Evidence from a survival analysis of fixation duration. *Visual Cognition*, 2013. 21(1): 38-60.
- [13] 曾雌崇弘, 栗山健一, 金吉晴, 萩原裕子. 有標言語表現処理における短期作業記憶過程と実行系機能の関係に関する事象関連電位研究. *精神保健研究*, 2008. 54: 73-81.
- [14] Sutton S, Braren M, Zubin J, and John, R. E. Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science* 150, 1965. 1187-1188.
- [15] 高橋三郎, 大野裕, 染谷俊幸, 神庭重信, 尾崎紀夫, 三村將, 松井俊哉. *DSM-5 精神疾患の分類と診断の手引き*. 東京: 医学書院, 2014.
- [16] Veinovic D, and Zdravkovic S. Side flankers produce less crowding, but only for letters. *Cognition*, 2015. 143, 217-227
- [17] Walter, G. W., Cooper R, Aldridge, J. V., McCallum, C. W., and Winter, L. A. Contingent Negative Variation: an electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain. *Nature*, 1964. 203(4943): 380-384.
- [18] Weiss B, Knakker B, and Vidnyanszky Z. Visual processing during natural reading. *NATURE Scientific Reports*, 2016. 6: 1-16.
- [19] Whitney D, and Levi, M. D. Visual crowding: A fundamental limit on conscious perception and object recognition. *Trends in Cognitive Science*, 2011. 15: 160-168.
- [20] Yagi, A. Eye fixation-related potential as an index of visual function. *The 3rd International Conference on Biobehavioral Self-Regulation and Health*, Tokyo, 1993.