HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	文字列に特化した初期視覚処理 : 読みと発達性ディスレクシアの解明に向けて
Author(s)	奥村, 安寿子
Citation	北海道大学大学院教育学研究院紀要, 124, 49-63
Issue Date	2016-03-25
DOI	10.14943/b.edu.124.49
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/61000
Type	bulletin (article)
File Information	AA12219452_124 (7).pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

文字列に特化した初期視覚処理

― 読みと発達性ディスレクシアの解明に向けて ―

奥　村　安寿子*

【要旨】 文字を流暢に読むスキルは，現代の生活や教育に不可欠である。しかし，発達性ディスレクシア等で読みに困難がある人々も存在し，原因の解明と支援法の開発が課題となっている。本稿では読みとその困難の解明に向けて，熟達した読み手が文字列を見た直後に生じる心的処理および神経処理に関する基礎研究を紹介し，流暢な読みの基盤と想定されるメカニズムを考察する。そして，読みに特異的な困難を示す発達性ディスレクシアの原因と支援方法について，基礎研究の成果を踏まえて議論する。最後に，読みと発達性ディスレクシアの更なる解明に向け，基礎研究と臨床研究に望まれる役割および両者の双方向的なアプローチの必要性について述べる。

【キーワード】読み，文字列処理，発達性ディスレクシア，事象関連脳電位，N170

１．「読み」とは

絵や図形といった視覚情報を用いて言葉を表す試みは約5500年前に遡る。それらが変形・簡略化されて出来たのが文字であり，様々な言語において体系化されてきた。その結果，文字の羅列を解読し，それらが表す情報を取得する「読み」という行為が生まれた。文字と読みは長い間，一部の人間だけが持つ道具と技能であったが，印刷術の発明と教育システムの確立により広く一般に普及し，現代では教育，学習，日常生活，文化，情報伝達等の広範な活動に不可欠なものとなっている。しかしその一方で，読みに困難を示す人々もいる。例えば，発達性ディスレクシアのある人は，平均かそれ以上の知的能力と十分な教育機会および学習意欲があるにも関わらず，読みの習得と遂行に特異的な困難を示す。読みの困難に対しては原因に応じた教育的介入が求められており，そのためには文字の読みがいかにして達成され，読みが上手くいかない場合に何が起きているかを明らかにする必要がある。

読みには，単一の文字から単語，句や節，単文，さらには複数の文が集まった文章まで様々なレベルがあるが，本稿では主に単語レベルの読みを扱う。単語を読むとは，ひとまとまりの文字の連なりが表す音（音韻）や意味を理解・表出する行為であるが，それらは一連の複雑な知覚的および認知的処理を経て達成される（図１：Coltheart，Rastle，Perry，Langdon，& Ziegler，2001）。読みの第１段階として文字単語が目に入る，すなわち網膜に投射されると単語は光受容体により無数の破片に分割される（Dehaene，2009）。その情報が大脳の視覚皮質に届くと，線分や曲線といった単純な視覚特徴に変換され（視覚特徴ユニット），それらが統合されると個々の文字が検出される（文字ユニット）。そして，個々の文字の並び順が解析され，１つの単語にまとめ上げられる（正書法入力辞書）。文字や単語が検出されると音韻処理が可

* 国立精神・神経医療研究センター，精神保健研究所，知的障害研究部
DOI：10.14943/b.edu.124.49

能となり，図１のモデルではひとまとまりの文字単語を長期記憶中の音声単語表象と対応させるルートと（音韻入力辞書），個々の文字を変換規則により音に変換するルート（書記素–音素変換システム）の２通りが想定されている。単語の意味へのアクセスは，意味システムを介して生じる。そうして私たちは単語を声に出して読んだり，単語が表す意味や概念を理解したり出来る。

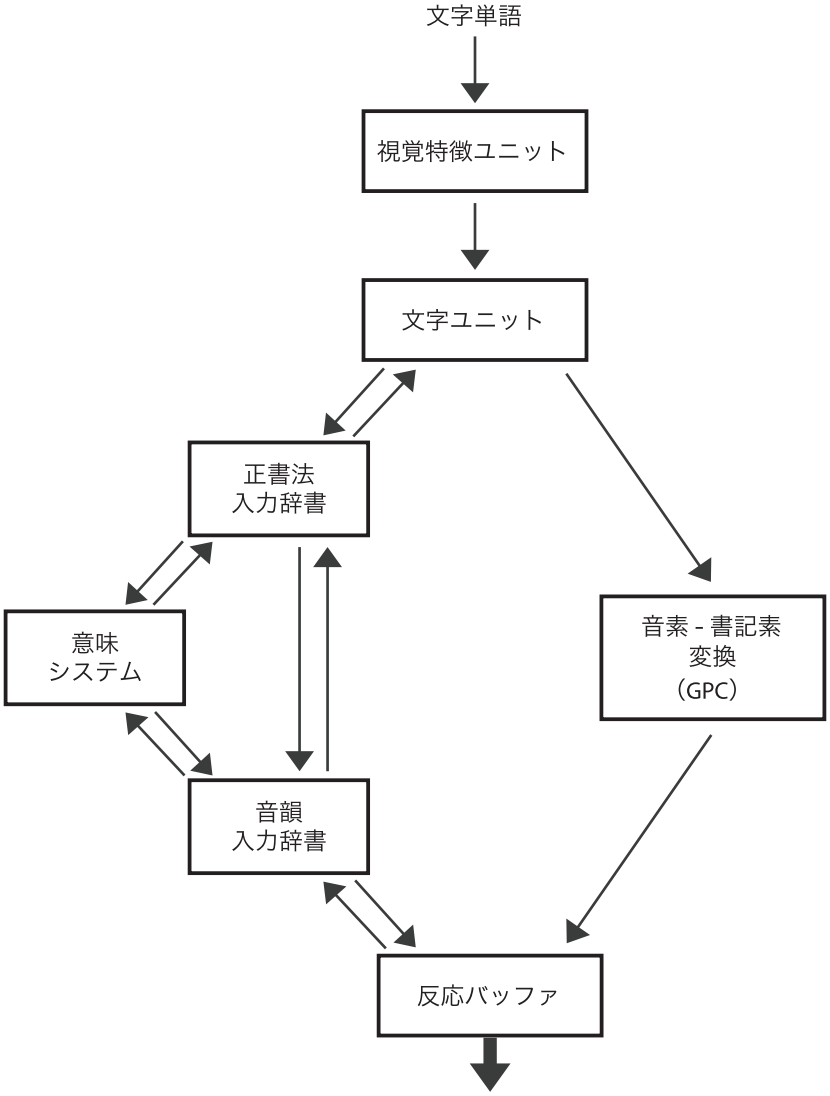

図１　文字列処理過程の概要

文字列の視覚入力が大脳の視覚皮質に到達してから反応出力に至るまでの経路を示している（Coltheart et al., 2001の二重経路モデルに基づく）。

特筆すべきは，これら一連の処理が極めて短時間の内に完了することである。成人が意味や内容を理解しながら文章を読むとき，速い読み手であれば１分間に500語程度読むことが出来る（Jackson & McClelland, 1975)。これは，１語当たりに換算すると約120ミリ秒であり，文脈等の補助を考慮しても非常に速いことが分かる。一方，文字を学び始めたばかりの子どもたちにとって，読みは多大な時間と労力を要する行為である。彼らは単語中の文字を１つ１つ分析し，時間をかけて音に変えていくことでようやく読むことが出来る（Frith, 1985)。このような子どもの読みは，長年にわたる訓練の継続と読み経験の蓄積により流暢な成人の読みへと変化していき，視覚／正書法・音韻・意味等のあらゆる処理が向上する。従って，私たちが流暢に読むことが出来る背景には，学習によって高度に熟達化した文字単語処理のメカニズムがあるといえる。

文字単語を見た時に生じる様々な処理の過程や特性，および処理間の関係性を明らかにしていくことは，読みの基本的なメカニズムを解明するのに有用なアプローチである。また，そのような知見を蓄積していくことで，読み困難の解明も促進されると考えられる。そこで本稿では，熟達した読み手が文字列を見た直後に生じる処理について，これまでに得られている知見と筆者らが行った研究を紹介する。そして，それらの成果が発達性ディスレクシアの理解にどう貢献し得るかを考察し，「読み」の解明に向けた基礎研究と臨床研究の融合を探っていく。

２．文字列の初期処理

熟達した読み手が文字列を見た時，視覚／正書法処理や音韻処理といった初期の過程は意図せずとも生じる。これは，長年の読み経験により文字および文字単語が過学習され，初期の処理過程が自動化されているためと考えられる。文字列の初期処理は音読や意味理解の基盤であり，流暢な読みの重要な要素であると想定される。本節では，それらを調べる手法として事象関連脳電位（Event-related brain potentials: ERPs）を紹介し，文字列の初期処理を反映するERP成分N170を概観する。

２．１．事象関脳連電位

文字列処理はごく短時間で完了するため，その過程を詳細に捉えるには高い時間分解能を持った指標が必要である。ERPは光や音などの外的刺激や，刺激への注意や反応前の運動準備といった内的活動に関連して生じる脳の電気生理学的活動であり，ミリ秒単位の高い時間分解能で記録することが出来る。ERPは持続的・自発的に出現する脳波（electroencephalography: EEG）に重なって生じ，単一の試行では観察することが難しいため，多数の試行で記録したEEGを刺激提示や反応といった事象の生起時点に揃えて加算平均する。これにより，関心のある事象とは無関連な脳波が相殺され，検討したい事象に対応したERPを取り出すことが出来る。ERPを指標とすることで，刺激入力から反応出力に至る過程を時系列的に調べることができ，行動反応以前の処理も検討出来る。そのため，文字列処理の初期過程を捉えるのに適している。これまでの研究で，文字列処理の様々な側面がERPを用いて調べられており，関連するERP成分も数多く報告されている（レビューとしてBarber &

Kutas, 2007)。

２．２．文字列に特異的なN170

N170は後頭側頭部の電極で優勢に観察される陰性の視覚誘発電位であり，刺激提示後約170 msで頂点に達する。視覚刺激全般により惹起されるが，観察者が見慣れた刺激に対して振幅が増強するという特徴があり，視覚刺激の初期処理と学習の関わりを反映するERP成分として注目されてきた。最もよく調べられているのは顔刺激に対するN170であり，人間の顔に対して顔以外の物体よりも振幅が増強する（e.g., Bentin, Allison, Puce, Perez, & McCarthy, 1996; Itier & Taylor, 2004)。顔N170は，社会生活において非常に重要な「顔」という刺激カテゴリーが十分に学習された結果として成立した，顔に特異的な速い処理を反映すると考えられている。また，特定の物体（犬，鳥，車）の専門家は，それらの画像に対して非専門家よりも高振幅のN170を示したことから（Gauthier, Curran, Curby, & Collins, 2003; Tanaka & Curran, 2001)，カテゴリー特異的なN170の増強は学習に依存することが明らかになった。これらの知見は，ある刺激カテゴリーを過剰に学習すると，それに属する物体に特化した初期の処理過程が形成されることを示している。

文字列に対しても，顔などと類似のN170反応が見られることはBentin, Mouchetant-Rostaing, Giard, Echallier, & Pernier（1999）によって初めて報告された。彼らは，フランス語単語（有意味・発音可能)，非語（無意味・発音可能)，子音列（無意味・発音不可能）と非文字列（記号列，図形列）に対するERPを比較し，文字列が非文字列よりも高振幅のN170を左後頭側頭部で優勢に惹起することを示した。このとき，発音の可否および意味の有無による差はなかったことから，「文字列」を選択的に分類・同定する速い処理の存在が明らかになった。また，顔や物体に対するN170は右半球優位ないし両側性の分布を示すのに対し(e.g., Bentin, et al., 1996; Itier & Taylor, 2004)，文字列N170は左半球優位であったことから，文字列に特異的な処理が関わって出現すると考えられた。さらに，N170の増強は文字列を「読む」必要がない課題（刺激のサイズ判断）でも観察されたことから，音韻や意味の処理に先立って生じる自動的な視覚／正書法処理を反映すると解釈された。その後，同様の文字列N170が様々な言語で確認され（英語：Maurer, Brandeis, & McCandliss, 2005a，ドイツ語：Maurer, Brem, Bucher, & Brandeis, 2005b，中国語：Wong, Gauthier, Woroch, DeBuse, & Curran, 2005，日本語：Maurer, Zevin, & McCandliss, 2008)，共通した処理過程の存在が示唆された。図２はその一例として，日本語母語話者の後頭側頭部（左：P7，右：P8）で記録されたN170を示す。

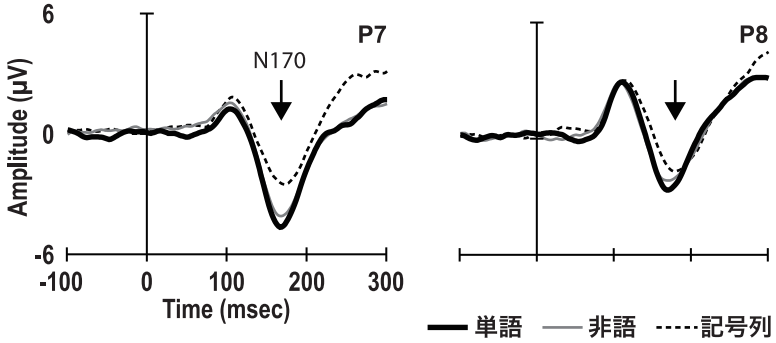

図２　文字列N170の例

日本語母語者の成人から得られたN170。主に左後頭側頭部（P7）で，ひらがな単語および非語に対するERPが記号列よりも陰性方向に増強している（奥村・室橋・河西，2011）。

この文字列N170が読みの学習によって出現することは，同じ文字言語の学習者と非学習者の比較により明らかになった。成人にある言語の文字列を提示したとき，非文字列よりもN170が増強するのは学習者のみであり（Wong et al., 2005），学習者と非学習者ではN170の振幅や半球差が異なることが示されている（Maurer et al., 2008; Simon, Bernard, Lalonde, & Rebaï, 2006）。さらに，N170における文字列と非文字列の差は，読みを学ぶ以前の子どもでは基本的に見られないが（Maurer, Brandeis, et al., 2005b; Maurer et al., 2006, 2007），読みを学び始めてから約１年半後には文字列に対してN170が明瞭に増強することが報告されている（Maurer et al., 2006, 2007）。物理的には同一の文字列刺激に対するN170が，学習経験によって変化することを明らかにしたこれらの知見は，文字列処理の初期過程が読みの学習により変容することを示している。逆に言うと，文字列N170は読みの学習により形成された，文字列に特異的な初期処理を反映すると考えられる。

２．３．文字列N170に反映される処理

上述の通り，文字列N170は「文字列」に対して「文字列ではないもの」よりも増強する。そのため，「文字列」に属する視覚刺激を，音韻や意味に関わらず分類・同定する知覚的カテゴリー化処理（perceptual categorization：Schendan, Ganis, & Kutas, 1998）と関連付けられてきた。熟達した読み手は無数の文字列に接する中で，それらを互いに識別したり，特定の単語を同定したりする経験を膨大に蓄積している。その結果，文字や文字列を構成する恒常的な視覚特徴が学習され，それらを持った刺激を素早く類別出来るようになると考えられている（McCandliss, Cohen, & Dehaene, 2003）。文字列の入力を迅速に検出することは，音韻・意味等の後続処理を効率よく惹起するのに有益であり，流暢な読みに寄与すると考えられる。

文字列N170の左半球優位性については，いくつかの証拠から音韻変換処理（phonological mapping）を反映すると考えられている。Maurer et al.（2005a, 2005b）は，同一の課題と刺激系列下でドイツ語の偽単語は左半球優位なN170を惹起したが，英語では両側性であった

ことを報告し，結果の違いは文字-音韻対応の規則性によると考察した。ドイツ語は文字と音韻の対応に例外が少ないのに対し，英語は１対多の対応や例外が非常に多い。規則性が高い表記では文字から音韻への変換がより自動的に生じると考えられることから，文字列N170の左半球優位性には音韻変換処理が関わると解釈された（Maurer & McCandliss, 2007）。さらに，Yoncheva, Blau, Maurer, & McCandliss（2010）は音声単語と人工文字の連合学習において，文字全体と音声単語の対応を学習した群では右半球優位なN170が惹起されたが，文字の構成要素と音素の対応関係を学習した群では左半球優位であったことから，文字-音韻対応の知識と左半球優位性の因果関係を示唆した。文字列処理の過程で音韻変換が生じることは，熟達した読みの特徴とされているが（レビューとしてFrost, 1998; Halderman, Ashby, & Perfetti, 2012），N170の左半球優位性はそうした初期の音韻変換処理の生起を反映する可能性がある。

重要な知見として，文字列に対するN170の増強および左半球優位性は，言語的な情報（音韻・意味）が全く必要ない課題の遂行下でも観察される。そのため，知覚的カテゴリー化と音韻変換処理は，文字列の視覚入力に応じて自動的に生じると考えられている。これらの研究結果を総合すると，文字列を見た時にそれが「文字列」であることを素早く同定し，対応する音韻情報が自動的に活性化するプロセスが，熟達した読みの初期段階にあると考えられる。

３．ひらがな文字列に対するN170

前節で述べた通り，文字列N170が非言語的な課題でも観察されることは，自動的な正書法・音韻処理を反映する証拠とされてきた。しかし先行研究では，実際の読み速度よりも非常に遅いペースで刺激が提示されており（数秒に１刺激程度），個々の刺激を十分に注意して見ることが可能であった。これは，実際の読みと大きくかけ離れた状況であり，文字列N170とそれに反映される処理が実際の読みに近い状況下でも出現するかは明らかでなかった。また，低速の刺激提示下では，たとえ課題要求がなくとも言語処理が行われ得るという指摘もあり（Kronschnabel, Schmid, Maurer, & Brandeis, 2013），文字列N170に反映される処理の自動性についても検討の余地があった。さらに，文字列N170の検討はアルファベットと漢字で多く行われているものの，日本語のかな文字についてはあまり行われていない（Horie et al., 2012; Maurer et al., 2008）。かな文字は，アルファベットや漢字とは異なる表記体系を持ち，文字と音韻の対応がより規則的であることから，初期の正書法・音韻処理について更なる検討が必要であると考えられた。

そこで著者らの研究（Okumura, Kasai, & Murohashi, 2014）では読みに熟達した成人を対象とし，ひらがな単語，非語，記号列を１秒間に２－３刺激のペースで高速提示することで実際の読みにより近い入力速度となるようにした。さらに，参加者には刺激を無視し，注視点の色変化に反応するよう求めることで刺激への注意配分が制限されるようにした。高速提示下では単位時間あたりの刺激数が増えることで情報負荷が増大し，注意を向けていない情報の処理が困難になることが示唆されている（Schwent, Hillyard, & Galambos, 1976）。そのため，これらの操作は文字列に対して意図的な言語処理が生じる余地を最小化すると考えられる。結

果として，両側の後頭側頭部で得られたERPにおいてひらがな単語・非語ともに記号列よりも高振幅のN170を惹起したことから（図３），文字列の知覚的カテゴリー化処理に関しては自動性が非常に高いことが確認された。しかし，この文字列N170は左右両側で同等に惹起され，左半球優位性は認められなかった（図３）。先行研究では，ひらがな文字列に対しても左半球優位なN170が確認されていることから（Horie et al., 2012; Maurer et al., 2008），両側性の分布がひらがな表記に特有であるとは考えにくい。そのため，高速提示あるいは文字列が無視されていたことが，左半球優位性に反映される初期の音韻処理に影響したと考えられた。

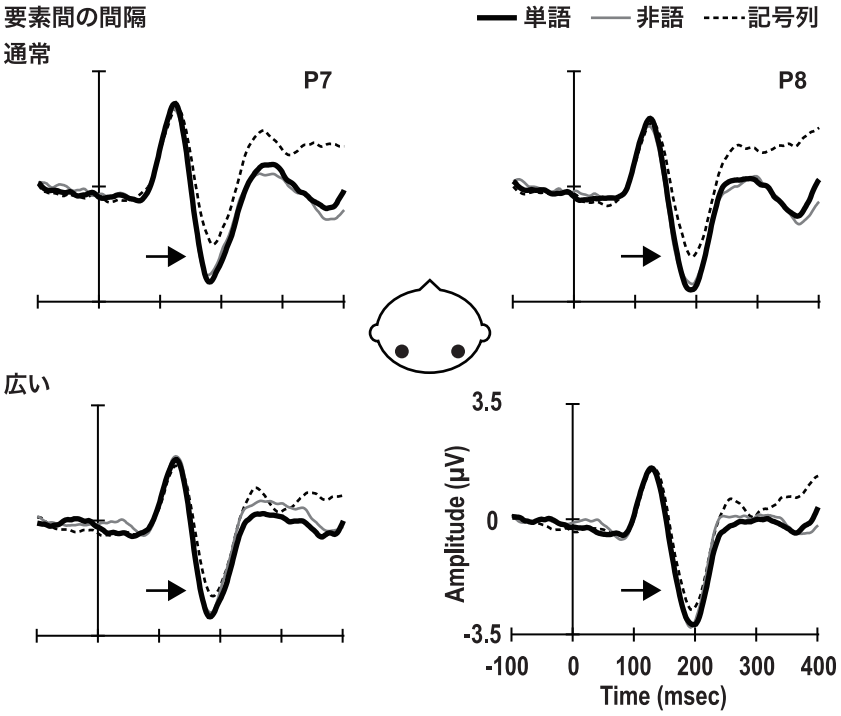

図３　高速提示下の文字列N170（課題非関連刺激）

要素間の間隔が通常（上段）および広い（下段）ひらがな単語，非語，記号列に対する総加算平均ERP。参加者は注視点の色変化を検出するよう要求された。ひらがな単語および非語に対するN170の増強が，左右両側の後頭側頭部（P7，P8）で同等に観察される（Okumura et al., 2014）。

この可能性を検証するため，Okumura, Kasai, & Murohashi（2015）は上述した高速提示の刺激系列において青字刺激の検出を課題とし，注視点ではなく刺激自体に注意が向けられるようにした。その結果，構成文字の間隔が通常どおりの文字列（例．あいさつ）ではN170が左後頭側頭部で優勢に惹起され，左半球優位性は文字列自体への注意を必要とすることが示された（図４A）。しかし，文字間隔が広いときには（例．あ　い　さ　つ），文字列に注意を向けていても両側性の文字列N170が観察された（図４A）。文字単語認知の先行研究において，文字間隔の拡張は語長効果（length effect，文字列を構成する文字数の増加に応じた処理時間の延長）をもたらすことが示されており，語長効果は構成文字への逐次的な注意配置を反映

すると考えられている（Cohen, Dehaene, Vinckier, Jobert, & Montavont, 2008; Risko, Lanthier, & Besner, 2011）。このことを踏まえると，N170の左半球優位性とそれに反映される音韻情報の活性化は，文字列全体に注意が配置されなければ生じない，もしくは減弱すると考えられる。従って，初期の音韻処理過程は，必ずしも自動的ではないことが示唆された。

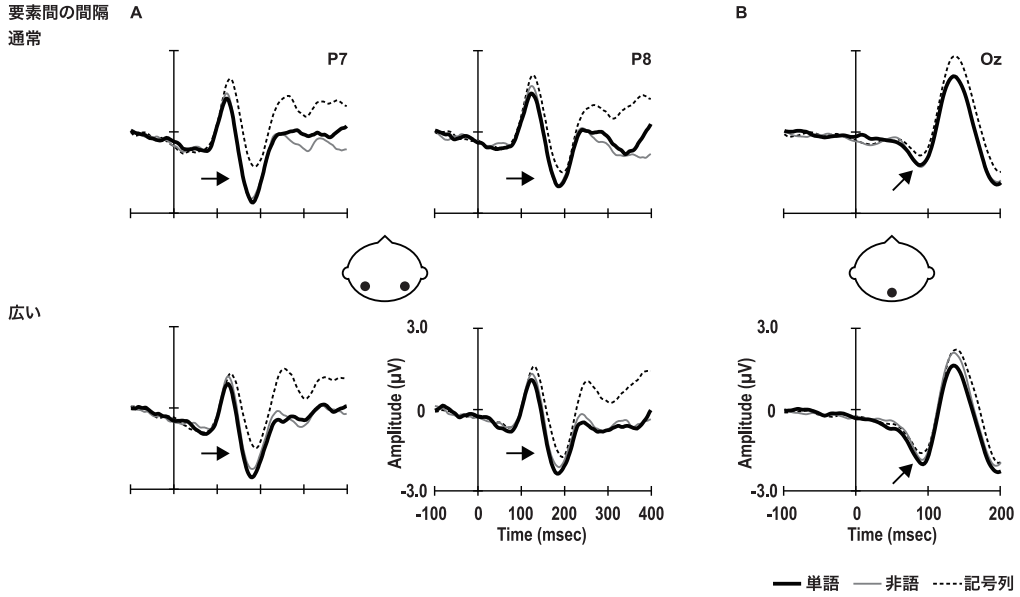

図 4　高速提示下の文字列N170（課題関連刺激）

刺激は図 3 の研究と同一であり，参加者は刺激の色変化を検出するよう要求された。A）文字間隔が通常のひらがな単語・非語に対するN170の増強は左後頭側頭部（P7）で優勢であったが，文字間隔が広い時は両側性であった。B）後頭部（Oz）で得られた総加算平均ERP。単語に対するERPが記号列よりも陰性に増強している（Okumura et al., 2015）。

Okumura et al.（2015）ではさらに，刺激提示後80－90ミリ秒で頂点に達する後頭部（Oz）優勢の陰性電位が，記号列よりも単語で増強した（図 4 B）。このとき，同じくひらがなで構成される非語には記号列との差が認められなかったことから，単語に対する初期陰性電位の増強は記号列との物理的な違いではなく，学習の影響によるものであることが示唆された。これらより，熟達した読み手においては単語に特化した処理が，視覚処理の極めて早い段階に存在すると考えられる。そしてこの反応は，刺激が課題と無関連な時には観察されなかったことから（Okumura et al., 2014），刺激への注意は速い単語処理の生起にも関わる可能性が提示された。

以上より，ひらがな表記においてもアルファベットや漢字と同様に，文字列に特化した初期処理が存在することが確認された。文字列に対するN170の増強とそれに反映される知覚的カテゴリー化処理については，高速提示下および刺激自体に注意を向けない状況下でも生じることが示され，自動性が非常に高いことが明らかになった。一方，N170の左半球優位性とそれに反映される初期の音韻変換処理については，高速提示下でも示されたものの，文字列全体へ

の注意配置を必要とする点で，必ずしも自動的ではないことが明らかになった。さらに，N170よりも早い段階には単語に特化した処理が存在するが，その生起も文字列への注意に依存する可能性が示された。これらの知見から，文字列に特化した初期処理の少なくとも一部は，文字列に対する視覚的注意が関わって駆動すると考えられる。文字列処理の初期過程における視覚的注意の役割はこれまであまり想定されてこなかったが（McCann, Folk, & Johnston, 1992），今後更なる研究を行う上で重要な観点になると思われる。

4．発達性ディスレクシアの理解と支援に向けて

読みの基礎研究に期待されるもう１つの役割に，読みの困難の原因解明と支援方法の確立がある。文字を流暢に読むメカニズムが明らかになれば，読みに困難のある人がどこに不具合を持つかを調べることが出来るようになる。そして読み困難のメカニズムが解明されれば，それに応じた有効な学習方法や指導方法の開発が望める。そこで本節では，読み困難が生じる代表的な発達障害として発達性ディスレクシアを取り上げ，前節までに紹介した基礎研究の知見から障害メカニズムを考察するとともに，支援への示唆を提示する。

4．1．定義と原因

発達性ディスレクシアは全般的な知的発達や教育環境，学習への動機づけ等に問題がないにも関わらず，文字の読み書きに特異的な困難を示す学習障害である。学齢期の出現率は英語圏で約10%（e.g., Katusic, Colligan, Barbaresi, Schaid, & Jacobsen, 2001），日本語では漢字も含めると約８％に達すると報告されており（Uno, Wydell, Haruhara, Kaneko, & Shinya, 2009），決して希な障害ではない。また，読み書きの困難が学業の不振，二次障害，進学や就労の制約等につながる場合も少なくないことから，原因の解明と支援法の開発は重要な課題である。

これまでの研究から，発達性ディスレクシアの主原因は言葉の音韻の認識や処理の不全であるとする仮説（音韻障害仮説）が提唱されており，英語をはじめとするアルファベット言語で特に有力視されてきた（e.g., Ramus et al., 2003; Shaywitz & Shaywitz, 2005）。文字の学習には音声単語を個々の文字と対応する要素（音節，音素等）に分解し，同定・想起・操作するスキルが重要な役割を果たすが，発達性ディスレクシアのある子どもや成人は，それらが要求される課題（音節／音素削除［たぬき言葉］，単語逆唱［さかさ言葉］，無意味語の復唱，韻の判断等）でしばしば低成績を示す。また，言葉や文字の音韻表象（phonological representation）へのアクセスが不良なことで，文字を音韻に変換する処理の効率が低下し，音読の拙さや意味理解の困難が生じると考えられている（Boets et al., 2013; Ramus & Szenkovits, 2008）。音韻障害はディスレクシアの中核障害と見なされており，音韻の認識や操作の訓練が読み書き困難の改善において一定の効果があることも示されている（National Institute of Child Health and Human Development, 2000）。

４．２．視覚的注意と発達性ディスレクシア

音韻障害を主原因とする従来の仮説に対し，近年新たに提唱されたのが視覚的注意障害仮説である。この仮説は，発達性ディスレクシアには背側視覚経路の機能不全に基づく視空間的注意の障害があり，そのために十分な質の正書法表象が得られず，結果として音韻処理が阻害されると主張する（Vidyasagar & Pammer, 2010）。実際に，発達性ディスレクシアのある子どもは空間位置への定位や視覚刺激への持続空間的注意といった，視覚的注意機能の不全を示すことが報告されている（Facoetti, Paganoni, & Turatto, 2000; Franceschini, Gori, Ruffino, Pedrolli, & Facoetti, 2012）。そのため，文字や文字列を読む際に，視覚的注意を適切に配置出来ていない可能性がある。視覚刺激への注意は感覚表象の強度に関わると考えられていることから（レビューとしてHillyard & Anllo-Vento, 1998），その障害により文字の形や配列といった視覚／正書法情報を高い精度で符号化することが出来ず，音韻処理障害さらには読みの全般的な困難がもたらされることは十分に考えられる。

本稿 3 節で紹介した筆者らの研究では，刺激の課題関連性と文字間隔が文字列N170の左半球優位性と関わっていたことから，文字列全体への注意が初期の音韻変換処理に寄与すると考えられた（Okumura et al., 2014, 2015）。この見解に基づくと，初期の音韻変換処理は音韻処理と視覚的注意のいずれに問題があっても阻害され得る。もし，音韻の認識や音韻表象へのアクセスが不良であれば，文字列に適切に注意を配置しても速い音韻変換処理は生じないと想定される。一方，音韻処理自体には障害がなくとも視覚的注意に障害があれば，やはり音韻処理の生起に支障をきたすと考えられる。初期の音韻変換処理が流暢な読みと具体的にどう関わるかは今後の課題であるが，筆者らの知見は音韻処理障害ではなく，視覚的注意障害が直接の原因となってディスレクシアの症状が出現する可能性を支持している。

以上を総合すると，視覚的注意は発達性ディスレクシアの重要な観点といえ，評価や介入に取り入れていくことが望まれる。例えば，典型的な音韻処理障害を呈するケースであっても，音韻処理自体の障害に起因する場合と視覚的注意障害に起因する場合とが考えられ，後者では音韻認識や操作の訓練以前に視覚的注意の向上をはかる必要があるかもしれない。視覚的注意に着目した介入としては，ディスレクシアのある子どもに視覚的注意の訓練としてアクションビデオゲームに取り組んでもらったところ，注意課題の成績と読み能力の両方が改善したことが報告されている（Franceschini et al., 2013）。アクションビデオゲームの作用メカニズムは今後の課題と述べられているが，高速で移動する物体の追跡，瞬間的な出来事への対処，周辺視等の要求が，視覚的注意と関わる背側視覚経路の機能向上をもたらした可能性が提起されている。視覚的注意の観点に基づく発達性ディスレクシアの理解と支援は発展途上にあり，今後も基礎研究と臨床的介入の両面から更なる知見を蓄積していく必要がある。

５．おわりに

「私たちがいかにして文字を読んでいるか」という問いに対し，文字列N170の先行研究および筆者らの研究は，文字・文字列に特化した速い神経処理の存在とそれらを駆動させる視覚的注意の役割を示した。今後の課題としては，両者の関係性を更に解明し，それが流暢な読み

にどう位置付くかを明らかにしていくことが挙げられる。また，得られた知見を基に「読みが上手くいかない場合に何が起きているか」に対する答えを探り，どのような支援を行えば良いかを提唱していく必要がある。そして，基礎研究から示唆された原因と支援方法の検証には臨床研究が不可欠であり，それらの妥当性や有効性を確認するとともに，更なる問題を基礎研究に向けて提起していくことが望まれる。このようにして読みとその障害に，基礎研究と臨床研究から双方向的にアプローチしていくことが上記の問いの解決，および発達性ディスレクシアのある人に対するより良い支援につながっていくと考えられる。

謝辞

読みと発達性ディスレクシアの奥深い世界に導き，基礎研究と臨床実践の両面から長年指導して下さった室橋春光先生に，この場をお借りして改めて感謝申し上げます。

引用文献

Barber, H. A., & Kutas, M. (2007). Interplay between computational models and cognitive electrophysiology in visual word recognition. Brain Research Reviews, 53, 98-123.

Bentin, S., Allison, T., Puce, A., Perez, E., & McCarthy, G. (1996). Electrophysiological Studies of Face Perception in Humans. Journal of Cognitive Neuroscience, 8, 551-565.

Bentin, S., Mouchetant-Rostaing, Y., Giard, M. H., Echallier, J. F., & Pernier, J. (1999). ERP manifestations of processing printed words at different psycholinguistic levels: Time course and scalp distribution. Journal of Cognitive Neuroscience, 11, 235-260.

Boets, B., Op de Beeck, H. P., Vandermosten, M., Scott, S. K., Gillebert, C. R., Mantini, D., … Ghesquière, P. (2013). Intact but less accessible phonetic representations in adults with dyslexia. Science, 342, 1251-1254.

Cohen, L., Dehaene, S., Vinckier, F., Jobert, A., & Montavont, A. (2008). Reading normal and degraded words: Contribution of the dorsal and ventral visual pathways. NeuroImage, 40, 353-366.

Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. Psychological Review, 108, 204-256.

Dehaene, S. (2009). Reading in the Brain: The New Science of How We Read. USA: Penguin Books.

Facoetti, A., Paganoni, P., & Turatto, M. (2000). Visual-spatial attention in developmental dyslexia. Cortex, 36, 109-123.

Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Pedrolli, K., & Facoetti, A. (2012). A causal link between visual spatial attention and reading acquisition. Current Biology, 22, 814-819.

Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Viola, S., Molteni, M., & Facoetti, A. (2013). Action video games make dyslexic children read better. Current Biology, 23, 462-466.

Frith, U.(1985). Beneath the surface of developmental dyslexia. In K. Patterson, J. Marshall, & M. Coltheart (Eds.), Surface Dyslexia, Neuropsychological and Cognitive Studies of Phonological Reading. (pp. 301-330). London: Erlbaum.

Frost, R. (1998). Toward a strong phonological theory of visual word recognition: True issues and false trails. Psychological Bulletin, 123, 71-99.

Gauthier, I., Curran, T., Curby, K. M., & Collins, D. (2003). Perceptual interference supports a non-modular account of face processing. Nature Neuroscience, 6, 428-432.

Halderman, L. K., Ashby, J., & Perfetti, C. A. (2012). Phonology: An early and integral role in identifying words. In J. S. Adelman (Ed.), Visual word recognition volume 1: Models and methods, orthography and phonology. (pp. 207-218). Hove, England: Psychology Press.

Hillyard, S. A., & Anllo-Vento, L. (1998). Event-related brain potentials in the study of visual selective attention. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 95, 781-787.

Horie, S., Yamasaki, T., Okamoto, T., Nakashima, T., Ogata, K., & Tobimatsu, S. (2012). Differential roles of spatial frequency on reading processes for ideograms and phonograms: A high-density ERP study. Neuroscience Research, 72, 68-78.

Itier, R. J., & Taylor, M. J. (2004). N170 or N1? Spatiotemporal Differences between Object and Face Processing Using ERPs. Cerebral Cortex, 14, 132-142.

Jackson, M., & McClelland, J. (1975). Sensory and cognitive determinants of reading speed. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 14, 565-574.

Katusic, S., Colligan, R., Barbaresi, W., Schaid, D., & Jacobsen, S. (2001). Incidence of Reading Disability in a Population-Based Birth Cohort, 1976-1982, Rochester, Minn. Mayo Clinic Proceedings, 76, 1081-1092.

Kronschnabel, J., Schmid, R., Maurer, U., & Brandeis, D. (2013). Visual print tuning deficits in dyslexic adolescents under minimized phonological demands. NeuroImage, 74, 58-69.

Maurer, U., Brandeis, D., & McCandliss, B. D. (2005a). Fast, visual specialization for reading in English revealed by the topography of the N170 ERP response. Behavioral and Brain Functions, 1, 13.

Maurer, U., Brem, S., Bucher, K., & Brandeis, D. (2005b). Emerging neurophysiological specialization for letter strings. Journal of Cognitive Neuroscience, 17, 1532-1552.

Maurer, U., Brem, S., Bucher, K., Kranz, F., Benz, R., Steinhausen, H.-C., & Brandeis, D. (2007). Impaired tuning of a fast occipito-temporal response for print in dyslexic children learning to read. Brain, 130, 3200-3210.

Maurer, U., Brem, S., Kranz, F., Bucher, K., Benz, R., Halder, P., … Brandeis, D. (2006). Coarse neural tuning for print peaks when children learn to read. NeuroImage, 33, 749-758.

Maurer, U., & McCandliss, B. (2007). The development of visual expertise for words: The contribution of electrophysiology. In E. L. Grigorenko & A. J. Naples (Eds.), Single-word reading: Biological and behavioral perspectives. (pp. 43-64). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Maurer, U., Zevin, J. D., & McCandliss, B. D. (2008). Left-lateralized N170 effects of visual

expertise in reading: evidence from Japanese syllabic and logographic scripts. Journal of Cognitive Neuroscience, 20, 1878-1891.

McCandliss, B. D., Cohen, L., & Dehaene, S. (2003). The visual word form area: Expertise for reading in the fusiform gyrus. Trends in Cognitive Sciences, 7, 293-299.

McCann, R. S., Folk, C. L., & Johnston, J. C. (1992). The role of spatial attention in visual word processing. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 18, 1015-1029.

National Institute of Child Health and Human Development (2000). Report of the National Reading Panel. Teaching children to read: An evidence-based assessment of the scientific research literature on reading and its implications for reading instruction. NIH Publication No.00-4769. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.

Okumura, Y., Kasai, T., & Murohashi, H. (2014). Early print-tuned ERP response with minimal involvement of linguistic processing in Japanese Hiragana strings. NeuroReport, 25, 410-414.

Okumura, Y., Kasai, T., & Murohashi, H. (2015). Attention that covers letters is necessary for the left-lateralization of an early print-tuned ERP in Japanese hiragana. Neuropsychologia, 69, 22-30.

奥村安寿子・室橋春光・河西哲子（2011）．ひらがな文字列の正書法・音韻処理の特性と時間経過：事象関連電位を指標とした検討．日本心理学会第75回大会発表論文集，845.

Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S. C., Day, B. L., Castellote, J. M., White, S., & Frith, U. (2003). Theories of developmental dyslexia: Insights from a multiple case study of dyslexic adults. Brain, 126, 841-865.

Ramus, F., & Szenkovits, G. (2008). What phonological deficit? Quarterly Journal of Experimental Psychology, 61, 129-141.

Risko, E. F., Lanthier, S. ., & Besner, D. (2011). Basic processes in reading: The effect of interletter spacing. Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition, 37, 1449-1457.

Schendan, H. E., Ganis, G., & Kutas, M. (1998). Neurophysiological evidence for visual perceptual categorization of words and faces within 150 ms. Psychophysiology, 35, 240-251.

Schwent, V. L., Hillyard, S. A., & Galambos, R. (1976). Selective attention and the auditory vertex potential. I. Effects of stimulus delivery rate. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 40, 604-614.

Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2005). Dyslexia (Specific Reading Disability). Biological Psychiatry, 57, 1301-1309.

Simon, G., Bernard, C., Lalonde, R., & Rebaï, M. (2006). Orthographic transparency and grapheme-phoneme conversion: An ERP study in Arabic and French readers. Brain Research, 1104, 141-152.

Tanaka, J. W., & Curran, T. (2001). A neural basis for expert object recognition. Psychological Science, 12, 43-47.

Uno, A., Wydell, T. N., Haruhara, N., Kaneko, M., & Shinya, N. (2009). Relationship between reading/writing skills and cognitive abilities among Japanese primary-school children: Normal

readers versus poor readers (dyslexics). Reading and Writing, 22, 755-789.

Vidyasagar, T. R., & Pammer, K. (2010). Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing. Trends in Cognitive Sciences, 14, 57-63.

Wong, A. C. N., Gauthier, I., Woroch, B., DeBuse, C., & Curran, T. (2005). An early electrophysiological response associated with expertise in letter perception. Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience, 5, 306-318.

Yoncheva, Y., Blau, V., Maurer, U., & McCandliss, B. (2010). Attentional focus during learning impacts N170 ERP responses to an artificial script. Developmental Neuropsychology, 35, 423-445.

Print-tuning in Early Stages of Visual Word Processing: Toward Elucidation of Reading and Developmental Dyslexia

Yasuko OKUMURA

Key Words

Reading, Letter-string processing, Developmental Dyslexia, Event-related brain potentials, N170

Abstract

Fluent reading is a crucial skill for modern-day life and education. On the other hand, there are people who suffer from reading difficulties, such as developmental dyslexia, who await clarification of causes and effective intervention methods. To deal with this issue, the present article will first introduce studies regarding early stages of visual word processing in expert readers, in order to provide insights into psychological/neural correlates of fluent reading. Secondly, causes and interventions of developmental dyslexia will be discussed on the basis of experimental findings introduced. Finally, the article will propose roles of experimental and clinical studies, and necessity of their interaction for further progress in researches on reading and developmental dyslexia.