

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：82404

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2022

課題番号：20K22263

研究課題名（和文）流暢な読みの背景にある認知神経学的過程の解明：前頭の早期神経応答に着目して

研究課題名（英文）Early neural processes underlying fluent reading: the functional role of rapid activation in the inferior frontal cortex.

研究代表者

宇野 智己 (Uno, Tomoki)

国立障害者リハビリテーションセンター（研究所）・研究所 脳機能系障害研究部・流動研究員

研究者番号：40881785

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：文字単語を「素早く読む」ことは社会生活を支える重要な能力であると同時に、発達性ディスレクシアを有する人々においては困難が残存しやすい要素である。一方で、高速な読みやその障害の背景にある認知神経学的機序は明らかではない。本研究では経頭蓋磁気刺激を用いることで、近年注目されつつある左下前頭皮質の高速活動が、読みに対してどのような機能的・因果的役割を有しているかを明らかにすることを目的とした。主要な成果として、左下前頭皮質は音読に特異的に貢献すること、そしてその活動は他の読み関連領域よりも遅く生じるわけではないことを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の知見は、左下前頭皮質で生じる高速な発話処理が、従来のモデルで提案されてきたような読み処理過程の「機能的下流」では必ずしもないことを初めて示したことに学術的意義がある。さらにこうした高速な神経処理過程の機能不全は、文字を読むことの遅さ（流暢性の障害）の直接的な要因となり得ることから、本研究から得られた知見は、将来的には読字障害の原因機序解明の一助となることが期待される。

研究成果の概要（英文）：Although reading written words quickly is an essential ability for daily life, people with developmental dyslexia are likely to have residual difficulties in fluent reading. It is necessary to clarify the neuropsychological mechanism underlying fast reading for educational support for them, however, this is still elusive to date. This study aimed to elucidate the functional and causal role of rapid activity in the left inferior frontal cortex in fluent reading. The present outcomes provide the first evidence showing that early activation in the left inferior frontal cortex specifically mediates the rapid motor production of speech sounds in reading and that it is not necessarily the functioning “downstream” of other reading-related brain regions.

研究分野：特別支援教育

キーワード：視覚単語認知 経頭蓋磁気刺激 読みの流暢性 言語 音読

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

文字単語を媒介した情報伝達は現代社会におけるコミュニケーションの根幹であると位置づけられ、それゆえ文字を「どれだけ素早く読めるか」は、ある個人がどれだけ多くの情報を得られるかを決め得る重要な要素であると言える。一方で、こうした文字の読みにおける特異的な障害(発達性ディスレクシア)があることも知られており、我が国においてはおよそ6%の人々が読み障害を有すると推定されている。ディスレクシアは神経性物学的病因に依る脳機能異常によって生ずると考えられているものの、その詳細な機序は未だ明らかではない。そして我が国におけるディスレクシアを有する人々の特徴として、彼らに対して教育的・治療的介入を行ったとしても、文字を「正確に」読むことに改善はある一方で、「素早く」読むことには困難が残存しやすいことが示されている。したがって、ディスレクシアを有する人々に対して適切な治療的・教育的介入を行うためには、高速な読みを支える神経生物学的基盤を解明することが喫緊の課題であると考えられる。

文字の読みは、大脳の左半球に分散する複数の領域、すなわち、文字形態処理に関わる紡錘状回、文字-音韻変換処理に関わる縁上回、そして発話に関わる下前頭皮質後部の間の機能的連関によって達成される(図1)。従来の伝統的な認知神経学的モデルは、発話に関わる下前頭皮質後部の活動は紡錘状回や縁上回の活動の後に生じる(およそ300-400ms)ことを仮定しており、その役割は視覚単語認知における「機能的下流」として位置づけられてきた。しかしながらこの従来型のモデルは成人が文字単語を約300msで音読できるという経験的事実を十分に説明できず、高速な読みの背景にある皮質処理過程の時空間動態は明らかではなかった。

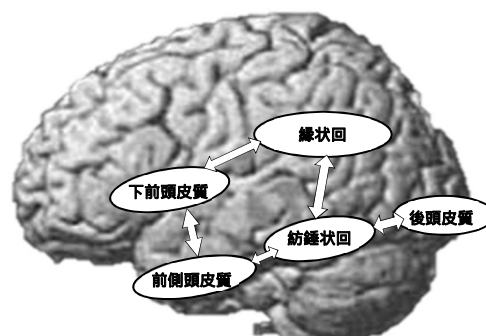


図1. 「読み」に関わる左半の領域

一方で近年の脳磁図を用いた研究から、こうしたモデルの見直しを迫るような知見が蓄積されつつある。すなわち、左下前頭皮質を起源とした皮質応答が文字単語の提示後100msで生じることが繰り返し報告されており(Pammer et al., 2004; Cornillisen et al., 2009; Wheat et al., 2010; Klein et al., 2015)、従来の仮定よりもはるかに早い時間帯において発話に関わる言語野が活性化することが示唆されている。

しかしながら、この下前頭皮質の高速活動が、読みという行為に対してどのように関わり得るのかは不明な点が多い。例えば従来の神経画像法研究からは、左下前頭皮質は発話運動のプランニングに関わるということで合意が得られていたが、刺激提示後100msという非常に素早い時間における活動も同様に発話に関わるかは不明であった。また、脳磁図は脳の構造・機能と行動の相関関係を推論する手法であるため、この左下前頭皮質の高速活動が文字の読みに因果的に貢献するかは明らかではなかった。さらに、読みの神経活動の時間動態としてこれまで報告されてきた電気・磁気生理学的応答は異なる課題(音読、語彙判断課題、意味判断課題、あるいは単語を受動的に見る課題など)から見出されているものであり、読みに関わる皮質活動の機能的役割とその時空間動態についてはさらなる検討が必要であった。

2. 研究の目的

本研究課題では、経頭蓋磁気刺激(transcranial magnetic stimulation:TMS)を用いた認知行動実験を行い、この前頭の神経活動の読みに対する因果的・機能的貢献を明らかにすることを目指す。TMSは、特定の部位・時点の脳活動に対して非侵襲的に干渉することのできる脳機能検査法の一つであり、脳活動と行動の因果性を検証するのに有効な手法である。本研究課題では、(1)左下前頭皮質の活動が発話を伴う「音読」に特異的かつ因果的に関わるかどうか、(2)他の読みに関わる皮質領域(紡錘状回、縁上回)の活動との時間的關係性の2点を明らかにすることを目的とした。

なお本研究計画では、開始当初は脳磁図とTMSを組み合わせた実験を実施する予定であったが、急遽所属機関での脳磁図施設の閉鎖があったため、そして刺激提示時点を基準とした特定のタイミングでTMSを印加する下記手法(chronometric TMS)を利用することで当初の計画が十分達成される見込みが立ったため、TMSのみを用いた研究計画に変更した。

3. 研究の方法

日本語を母語とする成人25名に実験協力を依頼した。実験では、文字単語について回答する以下の3種類の行動課題、すなわち、単語を声に出して読む音読課題、単語の意味カテゴリーを弁別する意味判断課題、知覚的判断課題を遂行するよう参加者に求めた。参加者が課題を遂行している間、左半球の下前頭皮質後部、紡錘状回、および縁上回に対して、単語刺激の提示後50-200の間の4時点と、ベースライン条件として提示前100msでTMSを印加した。

4. 研究成果

読みに関わる左半球の3つの脳領域(下前頭皮質、紡錘状回、縁上回)に対し、単語刺激提示後 50-200 ms で TMS を当てる認知行動実験を行ったところ、主要な知見として以下の2つの結果が示された(図)。(1) 刺激提示後 100-200 ms 時点で発話に関わる下前頭皮質後部 (posterior inferior frontal cortex: pIFC) に TMS を当てたところ、音読課題の成績が妨害され、意味判断課題や読みを求めない知覚的判断課題では妨害が生じなかった。(2) 下前頭皮質で最初に妨害が生じた時間は、文字の視覚形態処理に関わる紡錘状回 (fusiform gyrus: FG) と同時 (100 ms) であり、文字から音韻への変換に関わる縁上回 (supramarginal gyrus: SMG) における妨害 (150 ms) よりも早かった。

したがって今回の TMS データは、左下前頭皮質の高速な活性化が音読に特異的かつ因果的に貢献し得ることを示唆するものであった。さらに本研究の結果は、後頭皮質と前頭皮質の間の長距離皮質間相互作用が、単語の提示からきわめて早い時間窓の中で生じ得ることを示唆するものであり、高速な読みを支える認知神経学的基盤は、伝統的な認知モデルや従来の電気・磁気生理学的研究から想定されてきたような秩序だったカスケードによって支えられているわけでは必ずしもないことを示す。本研究の成果は現在学術論文として投稿中である。

本研究の成果は、高速な読みやその障害の機序を説明するための新たな理論的枠組みを構築していくための知見の一端を提供するものである。今後はディスレクシアを有する人々を対象とした脳機能計測実験を行うことで、左下前頭皮質の早期活動における非典型性や、この早期活動の機能不全がどの程度読みの困難を説明し得るかを検討していく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Uno Tomoki, Kasai Tetsuko, Seki Ayumi	4. 巻 -
2. 論文標題 The Developmental Change of Print Tuned N170 in Highly Transparent Writing Systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Psychological Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/jpr.12397	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 宇野 智己, 片倉 崇史, 河西 哲子	4. 巻 38
2. 論文標題 文字列特異的なERPの左側性化への物体にもとづく注意の役割	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 生理心理学と精神生理学	6. 最初と最後の頁 139 ~ 148
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5674/jjppp.2009oa	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Tomoki Uno, Marc Teichmann, Kouji Takano, Mio Yokoi, Kimihiro Nakamura
2. 発表標題 The anterior temporal semantic hub in the left and right hemispheres: A unified system or two separate systems for meaning?
3. 学会等名 Cognitive Neuroscience Society 2023 Annual Meeting（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoki Uno, Kouji Takano, Kimihiro Nakamura
2. 発表標題 Early activation of Broca's area causally contributes to speeded reading
3. 学会等名 Cognitive Neuroscience Society 2022 Annual Meeting（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoki Uno, Kouji Takano, Kimihiro Nakamura
2. 発表標題 Early activation of Broca's area plays a causal role in visual word recognition
3. 学会等名 Cognitive Neuroscience Society 2021 virtual meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------