



Title	文の読みにおける背側視覚経路の働きに関する研究 : Continuous Flash Suppression を用いた検討
Author(s)	櫻庭, 聡
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(保健科学)
Dissertation Number	甲第11432号
Issue Date	2014-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k11432
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55481
Type	doctoral thesis
File Information	Satoshi_Sakuraba.pdf



学 位 論 文

文の読みにおける背側視覚経路の働きに関する研究

-Continuous Flash Suppression を用いた検討-

櫻 庭 聡

北海道大学大学院保健科学院

保健科学専攻 保健科学コース

2013 年度

目次

0. 要旨	2
1. 緒言	4
1－1 視覚経路の概要	4
1－2 背側視覚経路における読字	5
1－3 Continuous Flash Suppression と背側視覚経路	8
1－4 本研究の目的と方法の概略	9
2. 方法および結果	
2－1 実験1 方法	10
2－2 実験1 結果	13
2－3 実験2 方法	13
2－4 実験2 結果	14
2－5 実験3 方法	15
2－6 実験3 結果	17
3. 総合的考察	
3－1 本研究の背景と実験手法の妥当性、結果の概略	17
3－2 提示視野と背側視覚経路、文字処理の関連性	21
3－3 ひらがなと漢字の処理の違いに関する考察	24
3－4 本研究のまとめと限界および今後の展望	26
4. 参考文献	28
5. 図表	34

0. 要旨

【背景・目的】ヒトの脳には視覚情報を処理する機構が大きく分けて2つあり、そのうちの背側視覚経路は後頭葉から頭頂葉後部（Posterior Parietal Cortex: PPC）に向かっている経路である。本経路は対象の位置や運動の情報を意識に上る形で処理する経路として知られているが、読字機能との関連性についてもその可能性が検証されてきている。例えば、背側視覚経路の機能と読字能力に関連性があることを示す文献が散見されていたり、letter-by-letter の読みを行った時や Mixed Case と呼ばれる大文字と小文字を組み合わせたものの読字、あるいは中国語において簡体字の部首を引き離した文字を読むときに PPC が賦活することが解っている。また、英語や日本語に共通する要素として左から右へ読む言語体系であることが挙げられるが、両側 PPC は文を読むためのサッケードと関連していることを示す報告がある。背側視覚経路の一部として考えられる PPC の選択的障害では視野が保たれていても文章を目で追いながらスムーズに読み進められない。一方で、右傍中心視野の半盲性難読でも後頭葉白質の損傷であるにも関わらず、同じように文を読む速度が低下したり、読み飛ばしが多くなることから、両者は同じような臨床像を呈している。このことから、PPC では文を読む時に右傍中心視野から入る文字情報を何らかの形で処理しているものと思われる。また、文字を読む際に PPC において周辺視野の正字的あるいは音韻的情報が処理されている可能性があるが、これは語間空白が明確な英語での知見である。語間空白は単語間の境界線を意味する視覚的な手がかりとなることは知られており、日本語では存在しない。またひらがなのみの文章の方が漢字仮名交じり文よりも眼球運動において悪影響が生じやすい可能性があること、単語の同定は漢字仮名交じり文の方がひらがなのみの文章よりも速いことが示されていることも併せて考えると、日本語ではひらがなと漢字を右傍中心視野で区別し、スムーズに文を読むための眼球運動を引き起こしているのではないかと推察される。この区別が PPC などの背側視覚経路で行われている可能性がある。この PPC などの背側視覚経路の働きを行動学的に調べる手法がある。Continuous Flash Suppression と呼ばれる画像マスキングの手法は、意識的に知覚させない状態で画像を提示することができ、V3A/V7 と呼ばれる PPC 付近と、頭頂間溝(IPS)付近といった背側視覚経路関連領域の活動を推測することが出来るツールとして用いられてきた。本研究では、Almeida ら(2008)や我々の先行研究（Sakuraba et al., 2012）を踏襲し、CFS とプライミングパラダイムを用いて背側視覚経路においてひらがなと漢字を区別している可能性とその提示視野の関連性について検討した。

【方法】被験者は大学生及び大学院生（各実験 20 名）である。これら被験者に対し、パソコンを用いて CFS と呼ばれるプライミングと両眼競合を利用した弁別反応課題を実施した。赤緑アナグリフを用いることで、一つの画像から左右の眼に各々違った像を入力することができる。利き目にランダムノイズ、非利き目には低コントラストのプライム画像を提示することで、両眼競合により被験者はプライム刺激の内容を意識的に知覚することはできない。プライム刺激提示後、意識的に知覚できるターゲット刺激を弁別するのに要した反応時間が計測される。実験 1 ではひらがなと漢字各々で音韻的要素を統一するようにそのひらがなの元となる漢字を使い（「あ」であれば「安」）、各々の文字様式に関して正字・スクランブル文字ターゲットのプライミング効果の差を検討した。プライミング効果は先行研究に倣い先に提示されるスクランブル文字プライム刺激とその後に提示される正字タ

ターゲット刺激の組み合わせのように不一致条件の時の反応時間から、プライム刺激もターゲット刺激も正字のように一致条件の反応時間を減算して求める。実験2では、実験1で用いた漢字の複雑性を鑑み、より画数の少ない漢字を使用しそのスクランブル文字も作成して両者のプライミング効果について検討した。さらに実験3では有意なプライミング効果が得られたひらがなに関して、提示視野を視角にして 3° 左右へ移動したプライム刺激を提示し、その後に提示されるターゲット刺激への弁別反応時間を計測した。被験者が画面中央を注視できているか否かをアイトラッカーによりリアルタイムで実験者が目視し確認した。用いる文字は実験1のひらがなと同様であった。

【結果】 実験1ではひらがなに関してそのスクランブル文字よりも正字ひらがなにおいて有意に高いプライミング効果を示した (paired T 検定 ; $t(29)=2.741, p<.05$) 正字プライミング効果 7.062ms(SEM=2.622) スクランブル文字プライミング効果 -1.881ms(SEM=1.986))。ところが、漢字に関しては両者に有意なプライミング効果の差は見られなかった ($t(19)=.380, p=.708(ns)$ 正字プライミング効果 1.985ms (SEM=2.322) スクランブル文字プライミング効果 .582ms (SEM=2.666))。実験2ではより画数の少ない漢字を用いて再検討したが、やはり有意なプライミング効果は得られなかった。 ($t(19)=-.469, p=.644(ns)$ 正字プライミング効果 .38ms (SEM=3.90) スクランブル文字プライミング効果 2.94ms (SEM=3.91)) また実験3ではひらがなに対し、その提示視野を左右に移動させて検討した。右視野にプライム刺激を提示した場合、実験1と同様に有意なプライミング効果を得た ($t(19)=4.050, p<0.01$ 正字プライミング効果 12.30ms (SEM=4.98) スクランブル文字プライミング効果 -.63ms (SEM=2.61)) が、左視野にプライム刺激を提示した場合そのような有意な効果は得られなかった ($t(19)=1.517, p=0.146(ns)$ 正字プライミング効果 4.43ms (SEM=3.55) スクランブル文字プライミング効果 -.70ms (SEM=3.02))。

【考察】 実験1より、ひらがなには有意な正字プライミング効果が得られたが、漢字には見られなかった。このことは、背側視覚経路ではひらがなと漢字の区別に必要な情報が処理され、そのメカニズムはひらがなを特異的に処理することによって得られる可能性が示唆された。また、実験2でひらがなと同じ程度の画数の少ない漢字を用いても有意なプライミング効果が得られなかったことから、画数による視覚的複雑性は実験1には影響が無いものと思われる。さらに実験3では右視野にひらがなのプライム刺激を提示した場合、実験1同様に有意な正字プライミング効果が得られたが、左視野に提示した場合はその限りではなかった。このことから、parafoveal preview benefit は背側視覚経路 (Fang ら(2005) の CFS を用いた実験が示唆する V3A/V7 や IPS 領域) で処理されている可能性が行動学的に示唆された。このことは、我々が普段行っているスムーズで連続的に文を読む時の眼球運動は、PPC などの背側視覚経路によってひらがなを特異的に処理することによるひらがな・漢字の区別するメカニズムの働きによってなされる可能性があることを意味する。また、本経路ではひらがなに有意なプライミング効果が得られたが、このことは画数による視覚的複雑性の影響というよりはむしろ表音文字であるひらがなと表語文字である漢字の持つ言語的性質の違いに起因する可能性がある。ひらがなの方が音韻的要素の影響を強く反映しており、今回の結果は Sakurai ら(2008)の背側音韻経路の仮説を部分的に示唆するが、背側視覚経路との関わりを言及するにはCFSの性質に関する脳機能イメージングの側面からの検証も含めたさらなる行動学的・脳機能イメージング的検討が必要であると考え。

1. 緒言

1-1 視覚経路の概要

ヒトの脳には、視覚情報を処理する機構が大きく3つあると考えられている (Ungerleider and Mishkin, 1982; Goodale and Milner, 1992, 2008; Rizzolatti and Matelli, 2003)。腹側視覚経路は後頭葉から側頭葉へ向かう経路であり、対象の色や形の分析、それらの特徴と意味との関連づけを行っている経路として考えられている。一方で、背側視覚経路は後頭葉から頭頂葉後部 (Posterior Parietal Cortex: PPC) を経て頭頂葉へ入る経路である。本経路はさらに下頭頂小葉 (Inferior Parietal Lobe: IPL) へ向かい、対象の位置や運動の情報を意識に上る形で処理する背腹側視覚経路と、頭頂間溝 (Intraparietal Sulcus: IPS) や上頭頂小葉 (Superior Parietal Lobe: SPL) へ向かい、対象の位置や運動に加えて形の情報を無意識的に処理する背背側視覚経路の2つ二分かれている。後者は、対象の位置・形状・傾きに合ったオンライン処理によるリーチングや把持に関わる。マカクザルからの知見により V1 で得られた視覚的情報は、V5/MT 野を経て、IPL や SPL に投射されていると考えられる (Colby et al., 1988)。また、頭頂間溝の周辺部では様々な機能があることが主にマカクザルの研究より知られており、外側頭頂間溝 (Lateral Intraparietal area: LIP) では主に眼球運動のコントロールを行っていると言われていたが形状に関する情報や空間情報について処理しているとも言われている (Serenio and Maunsell, 1998; Subramanian et al., in press)。また、後部頭頂間溝 (Caudal Intraparietal area: CIP) は軸やその面の方向の分析に関与していると言われている (Rizzolatti, 2003; Sakata, 2003; Tsutsui, 2003)。さらに、頭頂間溝の奥底に位置する腹側頭頂間溝 (Ventral Intraparietal area: VIP) は視覚、聴覚、一次感覚、前庭核などの様々な感覚モダリティの領域として知られている (Colby et al., 1993; Duhamel et al., 1998; Schlack et al., 2002, 2003)。頭頂間溝でもより前方に位置する前部頭頂間溝 (Anterior Intraparietal area: AIP) は背側視覚経路の終わりのステージであるとともに、対象物の把持に重要な領域である (Gallese et al., 1994) とされる。最近では両眼視差の処理に関与しているのではないかとことも言われている (Romero et al., 2013)。このように、頭頂間溝の周辺部は様々な機能が存在し、複雑な様相を呈している。しかし、後部の方ではより視覚的要素が強く、前方では運動野に近くなるためか、把持やつまみ動作といった手の動きに関する位置情報などの処理に働くことが多くなると言えるだろう。

さて、これらの視覚経路が障害されたときにはどのような症状が現れるのだろうか。Goodale ら (1992, 2008) は、腹側視覚経路の損傷による障害と背側視覚経路の損傷による障害との間では二重乖離が存在することを指摘している。腹側視覚経路の損傷では視覚性形態失認が生じ、物体に関する大きさや形、方向を視覚的に認識することができないにも関わらず、その物体への正確な手や指の動きが可能である。一方で背側視覚経路を含む頭頂皮質後方の損傷では視覚性運動失調が生じ、物体に向かうリーチングや把持に困難を示すが、その物体の方向、形、大きさを言語などで正確に表現することが可能である (Goodale, 2011)。また、背側視覚経路は、腹側視覚経路よりも速い情報処理を行っている。これは、先に述べたように背側視覚経路が物体へ手を伸ばし、把持をするなどの物体と身体の関係が刻々と変化する活動をコントロールするためのオンライン処理を主に担当しており、腹側視覚経路ではそのようなオンライン処理の必要がさほど重要ではないためだと考えられ

ている (Milner & Goodale, 2006)

背側視覚経路は、そのほかにも道具に関する視覚情報を処理していたり (Vingerhoets et al., 2009; Chao & Martin, 2000)、さらには道具のカテゴリを処理するという報告も見られた (Almeida et al., 2008, 2010)。ところが、我々は彼らと同様に Continuous Flash Suppression (CFS) と呼ばれる背側視覚経路の活動を推測するための画像提示方法を用いてさらに検討したところ、道具のカテゴリではなくそれらの殆どが共通して持つ細長い形状に関して処理しているのではないかという可能性を導いた (Sakuraba et al., 2012; CFS の詳細に関しては後述)。形状に関する背側視覚経路の役割は、今まで不明だったが CFS を用いた我々の研究によって明らかになったのである。背側視覚経路は様々な機能があることは先ほど説明したとおりであるが、CFS という画像提示方法を用いれば、行動学的にその可能性を模索することができる手法として用いることができるものである。そこで我々は背側視覚経路が内包する別の可能性に着目した。

1-2 背側視覚経路における読字

背側視覚経路と読字機能の関連性は様々な文献にて散見される (Chase and Jenner, 1993; Cornelissen et al., 1998; Talcott et al., 2000; Pammer and Kevan, 2007; Pammer, Connell, and Kevan, 2009 など) が、ディスレクシアの症例からの示唆が多い。ディスレクシアは知能や感覚系、モチベーションが保たれているにもかかわらず、読字のスキルが選択的に障害された病態であり (Felmingham et al., 1995)、文の読みに関する非流暢性、音韻性の処理やスペリングが困難な病態であると言われている (Conlon and Sanders, 2011; Shaywitz et al., 2003; Bruck, 1990)。ディスレクシアの症例は背側視覚経路や大細胞系における感度が低下していることを示唆する文献が散見される (Conlon et al., 2012; Boden et al., 2007; Felmingham et al., 1995)。ディスレクシアと背側視覚経路の関係を示すためのみならず、読字機能と背側視覚経路の関係性を示すのに用いられる手法として、コヒーレントモーションや Frequency Doubling 課題といったものの課題成績と比較するものが多い。ところが、コヒーレントモーション課題や Frequency Doubling 課題を背側視覚経路の活動の強さを示す感度の指標として扱ったときに、ディスレクシアで見られる背側視覚経路障害は読字の困難さと結びつきにくいということも言われている (Kevan A, and Pammer K; 2008)。さらに、Kinsey ら (2006) はコヒーレントモーション課題と視覚誘発電位 (Visual Evoked Potential; VEP) を用いて背側視覚経路の働きを推定し、音韻処理や正字処理といった読字機能と比較したところ、コヒーレントモーションに関しては音韻要素にも、正字要素にも関係が無いことが明らかになった。これは、コヒーレントモーションは広範な部位の活動しか見られないためであると彼らは述べている。背側視覚経路は動きや位置に関して処理をしていることから、その動きを知覚する閾値を調べるコヒーレントモーションであったり、縞刺激の知覚に関する Frequency Doubling 課題は確かにそれ自体は背側視覚経路の処理機能がどの程度なのか調べるためには非常に有効な手段であることは否めない。ところが、こうした背側視覚経路の活動に焦点を当て行動学的に評価する指標と読字に関わる能力の指標とは相関しないのである。ただし、視覚誘発電位と背側視覚経路の関わりが見られる (Kinsey et al., 2006) など、背側視覚経路と文字処理の可能性は全く無いとは言い切れず、

その方法に関して新しい切り口が必要である。

また、背側視覚経路と文字との関連性を示す研究は英語圏が多く、その知見が日本語でも同様であるのか十分に理解されておらず、日本語を用いた検討が必要であると考えられる。例えば、英語では背側視覚経路は letter-by-letter に関連性があると言われており (Cohen et al., 2008; Ho et al., 2002)、日本語では逐次読みと同等であると言われる。一次視覚皮質である V1 からのびる背側視覚経路は頭頂葉後部 (Posterior Parietal Cortex: PPC) に行き着くが、この PPC が letter-by-letter を行った時に賦活されると言われている。その他にも背側視覚経路と何らかの形で変形させた文字の関係について検討した論文も散見されるが、それらは文字の回転や画面中心に文字がかかる程度に左右にずらす手法 (Cohen et al., 2008) や、Mixed Case と呼ばれる大文字や小文字を組み合わせた手法 (Mayall et al., 2001)、あるいは Shifted Words と呼ばれる単語内の文字を上下交互に並べたものを提示する手法 (Pammer et al., 2006)、または中国語において簡体字の部首を引き離す手法 (Sun et al., 2011) といったものである。中国語でも検討はされているが、英語と背側視覚経路の文字に関する研究が多いのが現状である。日本語はアルファベットと違い、ひらがなやカタカナ、漢字といった様々な表記形態があるということ、また特にひらがなは表音文字と言われ、一文字で音韻を表すことが出来るなど、英語圏で用いられる文字とは異なる様相を呈していると考えられる。日本語と背側視覚経路の関連性について調べた最近の研究では、漢字とひらがなの読みにおいて空間周波数の役割が異なっており、低空間周波数要素を多く含むひらがなは背側視覚経路で処理されている可能性があると言われている (Horie et al., 2012A, 2012B) が、背側視覚経路と文字の関わりを説明するには不十分であることから、様々な視点からの研究がさらに必要なのではないかと考える。

PPC に関するその他の知見として、両側 PPC が左から右へ読む言語体系において効率的な読字サッケードと関連していることを示す報告があり、PPC が文を読む時に必要な感覚運動のプランニング調整と維持をオンラインで行っているということを示唆する (Leff et al., 2000; Leff, Scott, et al., 2001)。また、PPC が文を読む時に何らかの文字情報を感覚運動プランニング調整 (眼球運動の調整等) に用いている可能性があると考えられる。左から右へ読む言語体系で特に重要であるのが右傍中心視野であり、こうした視野領域からの視覚情報が得られない右同名性半盲の患者では半盲性難読 (hemianopic dyslexia) と呼ばれる文の読み障害を来すことがある。ところが、半盲性難読は半盲により生じる結果という解釈では不十分であると言われており (Poppelreuter, 1990)、Schuett ら (2008) もそれを受けて通常の読字における視覚、注意、眼球運動、言語機能、そしてそこに内在する神経学的メカニズムを考えて行く必要があることを強調している。視野の障害と読字の困難さは単純には説明出来ない現状がある。臨床像の点から、PPC が選択的に障害されると、視野が保たれていても文章を目で追いながら読み進められないということが解っている (Zihl and Hebel, 1997) が、半盲性難読 (特に右傍中心視野) でも後頭葉白質の損傷などであるにも関わらず同じように文を読む速度が低下したり、読み飛ばしが多くなる (Zihl, 1995; McDonald et al., 2006) ことから、両者は同じような臨床像を呈していることが解る。このことから、PPC では、文を読む時に右傍中心視野から入る文字情報を何らかの形で処理して

いる可能性がある。これは、背側視覚経路では運動や位置情報に関する処理をリアルタイムで行うという事実と、文字位置の情報に関する処理を行うという点で共通する。この右傍中心視野は parafoveal preview benefit (Rayner, 1975; Rayner & Pollatsek, 1989; for review Rayner, 2009B) というスムーズに文を読む際に必要な現象との関連性が深く、PPC で処理される情報と何らかの関連性があるのではないかと考えられる。parafoveal preview benefit は文を読む時に中心視から左右に広がる perceptual span から得られる情報から得られる。perceptual span は左方向に 3-4 アルファベット、右方向に 14-15 アルファベットと言われており、視角になおすと左約 1.3°、右約 5° に相当する (McConkie & Rayner, 1975, 1976; Rayner & Bertera, 1979)。この視野範囲から得られる情報は、現在英語という観点では単語の長さということは判っており、次に注視すべき単語の選定やサッケード幅の特定に用いられるとされている (Ducrot & Pynte, 2002; Inhoff, Radach, Eiter, & Juhasz, 2003)。また、正字的あるいは音韻的要素は関係している可能性があるが、語義的情報に関しては関与していないことも既に知られている (Altarriba et al., 2001; Rayner et al., 1986)。これらより総合して考えると、文字を読む際に PPC において周辺視野の正字的あるいは音韻情報が処理されている可能性が示唆されるのである。ところが、これは単語と単語の切れ目（語間空白）が明白な英語での知見である。この語間空白は単語間の境界線を意味する視覚的な手がかりとなることは知られており (Rayner, 1993)、日本語において語間空白は一般的な文章では用いられない。Sainio ら(2007)は、ひらがなのみの文章では、語間空白を入れることによって眼球運動誘導にも影響を与えたが、漢字仮名交じり文（普段我々が読んでいる文章）では、そのような効果は無かったことを示している。またひらがなのみの文章の方が漢字仮名交じり文よりも眼球運動において悪影響が生じやすい可能性があること、単語の同定は漢字仮名交じり文の方がひらがなのみの文章よりも速いことが彼らによって示されている。このことは、漢字とひらがなが右 perceptual span 内で何らかの形で区別され、その情報が文を読む時の最適な眼球運動として働いている可能性を示唆すると考える。さらにこの情報は前述の通り PPC で処理されている可能性があることを併せて考えると、PPC などの背側視覚経路領域ではひらがなや漢字の区別を何らかの形でつけている可能性が考えられる。文の読みと眼球運動については様々なモデルが立てられており、E-Z Reader (Rayner, 2009B など)や SWIFT (Engbert et al., 2005 など)がその代表例である。E-Z Reader は文を読む時の眼球運動に対し、認知/語彙的処理は眼球運動を起こす動力であるとする一方で、SWIFT はサッケードは語彙処理とは無関係で、独立して生成されるものであるとしている (Rayner, 2009)。これらのモデルの真偽は未だに不明であり議論の中にあるが、parafoveal preview benefit の考え方は眼球運動が認知的処理の影響を受けるとする E-Z Reader との適合性が良いように思われる。E-Z Reader は英語圏だけではなく、中国語圏でもそのモデルの拡張ができる可能性が示唆される (Rayner et al., 2007)が、漢字やひらがなといった異なる表記形態を混合して扱うような日本語での検討は不十分である。

また、日本語に関して正字、音韻、レキシコン、意味といった要素の処理段階の繋がりについてもモデルがいくつか立てられている (Nakamura et al., 2005; Sakurai et al., 2008; Hino et al., 2011) が、Ungerleider ら(1982)や Goodale ら(1992)の提唱している視覚二経路の仮説における背側視覚経路との関連性など、具体的な脳部位との関連性はまだ検討の余地がある

ものと思われる。中でも、Sakurai ら(2008)の文字に関する二経路の仮説では背側音韻経路という表現が存在するが、前述の視覚二経路における背側視覚経路との関連性を述べるには詳細なデータが不足している現状がある。この点から考えても、背側視覚経路と文字の関連性を日本語を用いて検討することは、同経路と漢字・ひらがなの関連性を調べる上で非常に重要であると考ええる。特に、文を読む時に効率的な眼球運動を引き起こす情報源となる右傍中心視野では漢字とひらがなを区別しており、その情報が PPC などの背側視覚経路領域と関連しているかは不明である。ところが、前述の通り背側視覚経路の働きの強さを反映すると言われる指標は、必ずしも読字機能との繋がりがあるわけではないことも確かである。そこで我々は次項に示すような背側視覚経路のプローブとなるような画像提示方法を用いて、文字の処理について検討した。

1-3 Continuous Flash Suppression と背側視覚経路

背側視覚経路の働きを調べる方法として、Continuous Flash Suppression (CFS) という画像の提示方法がある。この画像提示方法は Tsuchiya ら(2005)によって、視覚的残光を減少させるために両眼競合 (binocular rivalry) を用いて画像を意識的に知覚させないようにするという手法であるが、現在では無意識の知覚を調べるためのツールとして広く応用されている (Yang et al., 2012)。両眼競合とは、左右の目に異なる刺激を提示すると、それらの刺激が混合して知覚されるのではなく、どちらか一方の刺激のみが優先的に知覚され、その知覚が定期的に変化するというものである。CFS では、利き目に高コントラストで 10Hz の動的ランダムノイズを提示し、非利き目には低コントラストの静止画像を  1 に提示する。このように、高コントラストの刺激を与えることによって、画像を見る者はランダムノイズのみが知覚される時間が長くなり、結果的に静止画像を無意識的に「見ている」ことになる。なお、左右の目に異なる刺激を入れるためには赤緑アナグリフ ( 2) が用いられている。この CFS について Fang ら(2005)は、同様にして利き目に動的なランダムノイズ、非利き目に道具の静止画像を 200ms 提示した時背側視覚経路が選択的に賦活することが示された。道具のスクランブル画像では背側視覚経路、腹側視覚経路ともに賦活はしないが、道具の画像を見せたとき、CFS でマスキングし視覚的に知覚できない状態でも、通常の提示により視覚的に知覚できる状態でも、背側視覚経路の賦活に変化は無かったのである(腹側視覚経路では意識的に知覚できない場合は賦活は小さくなっている)。彼らの示す背側視覚経路は V3A や、頭頂間溝周辺部 (Intraparietal Sulcus: IPS) を指しており、Ungerleider ら(1982)や Goodale ら(1992)の提唱している視覚二経路の仮説と一致する部位となっていることから、実際に背側視覚経路の働きを調べるプローブとして使うことができると考えられる。Milner (2012)はこの Fang ら(2005)の研究成果に関して、背側視覚経路において視覚的形状情報は、腹側視覚経路が抑制されていたとしても処理される。そして、それは意識的に知覚されようがされまいが関係無いとし、彼らの業績を評価している。また、Hesselmann ら(2011)は CFS 以外の両眼競合では背側視覚経路と意識との関連性が見いだせなかったとし、Fang ら(2005)の実験特異的なものであったと指摘しているが、これは実験手法(マスキングの方法、提示時間など)を大きく変えなければ背側視覚経路の働きを調べるプローブとして用いることができるという見解とも考えられる。また、この CFS に関しては初期視覚処理レベルにおける基本的な視覚的情報のうち、いくつかの情報処理に対して干渉し

ていることが言われている。Yang ら(2012)は CFS に関するレビューの中で、対象の方向や空間的位相、動き、そしてコントラストといった視覚要素は CFS によってブロックされている可能性があるとしている。

このように、CFS によってマスキングして画像を提示することで背側視覚経路、特に IPS 周辺部の働きを推定することができるが、この手法を用いて背側視覚経路と道具カテゴリとの関係性を導いたのが Almeida ら(2008)である。彼らは、先に提示された刺激が後に起こる刺激に対する反応に影響を与えるプライミング効果を用いて、先に提示されるプライム刺激に対して CFS によるマスキングを施して実験を行った。マスキングされたプライム刺激提示後のターゲット刺激に対して二者択一の弁別反応をさせ、プライミング効果が認められた場合（すなわち弁別に要する反応時間が短縮した場合）、ターゲット刺激提示前の情報（プライム刺激）が処理されていたとするのである。すなわち、Almeida ら(2008)のようなプライミングパラダイムを用いれば、プライミング効果の有無が背側視覚経路で処理されているか否かを推し量る指標として用いることができる。彼らは、その中で道具と動物の写真を用い比較検討した。その結果、動物ではなく道具に対して有意なプライミング効果が得られたため、道具というカテゴリが背側視覚経路で処理されていると主張した。ところが、道具というものは共通して細長い形状を持つことが多い。それは道具の「手に持って用いる」という要素を反映しているのだが、この細長い形状が彼らの言う「道具カテゴリ」の本質なのではないかと考え、我々は細長い図形や細長い野菜を動物や丸型の野菜と比較して Almeida ら(2008)と同様に検討した (Sakuraba et al., 2012)。我々が用いた画像の一部を図 3 に提示する。その結果、仮説通り細長い形状であれば道具ではなく野菜であっても有意なプライミング効果が得られた。このことから、背側視覚経路は道具カテゴリというよりはむしろそれらに共通した細長い形状的特徴を処理している可能性がある結論づけた。CFS は上述のような手法によれば、背側視覚経路における処理を推し量るプローブとして用いることができ、上述の通り背側視覚経路で何らかの処理が行われていると考えられる文字に関しても CFS とプライミング効果を組み合わせた実験により、その関係性について調べることができると考えられる。

1-4 本研究の目的と方法の概略

本研究では、前述の通り日本語であるひらがなと漢字を用いて、背側視覚経路が周辺視野における文字処理に関してどのように関わっているのか、Almeida ら(2008)や今まで行ってきた研究 (Sakuraba et al., 2012) の CFS とプライミング効果を併用した方法を踏襲して検討する。語間空白のある英語圏では、右傍中心視野からの情報は単語の長さでありそれが文を読む時の眼球運動に影響を与えているということは判っている (Rayner, 1993)。また、ひらがなのみの文章の方が漢字仮名交じり文よりも眼球運動において悪影響が生じやすい可能性があること、単語の同定は漢字仮名交じり文の方がひらがなのみの文章よりも速いことが示されている (Sainio et al., 2007)。こうした語間空白のない日本語においては同じように効率的な文の読みを行うためには漢字とひらがなを区別している必要があると考える。また、文を読む時の眼球運動に必要な右傍中心視野由来の情報は PPC などの背側視覚経路で処理されている可能性が示唆されていることから (Ducrot & Pynte, 2002; Inhoff,

Radach, Eiter, & Juhasz, 2003)、背側視覚経路と漢字・ひらがなの区別に必要な情報には入力される視野も含め何らかの関連性があるものと考えられる。このことから、まず中心視野において両者が区別されているのか別々にプライミング効果を検討した後、右傍中心視野においてそれらのプライミング効果が本当に得られるのか、左傍中心視野ではどのような結果になるのかについて検討する。CFS では特に V3A/V7 や IPS といった背側視覚経路関連領域との関連性が強いと考えられるが、先の文字や parafoveal preview benefit と関連性が深い PPC と V3A/V7 は一部共通する部位であることから、本手法が適当であると考えた。

なお、本研究は北海道大学大学院保健科学研究院倫理審査委員会の承認を得て実施した。

2. 方法および結果

2-1 実験1 方法

被験者

本実験は20名の北海道大学医学部保健学科の学生及び、大学院保健科学院に所属する大学院生で、以前にフラッシュ刺激により体調の変化を経験したことのない方に依頼した。研究に関する十分な説明の後、参加者全員より書面によるインフォームドコンセントを得た。平均 22.75 ± 2.27 歳であり、女性10名、男性10名であった。被験者は全て右利きであり、課題遂行に影響があるような視覚的な障害（視野や視力）は無かった。また、実験に関する仮説などは知らされていなかった。

装置

IBM の ThinkPad G41 2881-B4J を使用した。モニタは TOTOKU CV921 (22 型) を用い、Refresh rate 100Hz、解像度 1280×1024 に設定した。刺激提示は DMDX (Foster et al., 2003) のソフトウェアを用いコントロールした。本ソフトウェアは、被験者にキーボードによる二者択一の課題を遂行することに適したものであり、ボタンマッピング等はプログラムの設定によって被験者毎に変更することができるものである。

刺激

プライム刺激は先行研究 (Almeida et al., 2008; Sakuraba et al., 2012) と同様の方法で Continuous Flash Suppression (CFS; Tsuchiya & Koch, 2005) と呼ばれる両眼競合(binocular rivalry)を利用した手法を用いた。赤緑アナグリフを用いることで、一つの画像から左右の眼に各々異なった像を入力することが出来る (図1)。各被験者の利き目に動的 (10Hz, 200ms の提示時間内で1回ノイズの内容が変わる) で高輝度・高コントラストのランダムノイズ、非利き目には低コントラストのプライム画像を提示することで、両眼競合により被験者はプライム刺激の内容を意識的に知覚することはできない。なお、低コントラストのプライム画像に関しては本実験を行う前に被験者毎に10段階のコントラストから最適なコントラストを選択している。Milner (2012)はCFSなどのマスキングの抑制が強すぎれば、視覚皮質での処理自体に影響が無くなってしまい、両経路の活性レベルが低下してしまうことを指摘していることから、各被験者が反応できない最大のコントラストを設定し提示する必要があると思われる。

被験者に提示する刺激画像は、Adobe Photoshop6.0 を用いて作成した。使用した文字のフォントは DHP 平成ゴシックで、大きさは 500pt に設定した。用いる平仮名と漢字はそれぞれ音韻情報に対応するように、すなわち平仮名で「あ」を用いるならば漢字ではその元となった「安」を用いるというような選択を行い、各々10 個の文字を選択した。先行研究 (Sakuraba et al., 2012) では、道具や動物の各カテゴリを 5 種類に設定したが、Bussche ら (2009)は、刺激の種類が少ないとプライミング効果が得られやすくなってしまうことを指摘している。そこで、今回は前回の倍の種類の画像を使用した。各文字に関して、上述の画像編集ソフトウェアを用い画数分レイヤーを用意し、各々の画がのったレイヤーを一つずつ移動・回転することで正字からスクランブル文字を作成した。従来の研究では、文字全体を画像として見立ててスクランブルにする手法が目立ったが、この方法では正字とスクランブル文字との複雑さの同一性を担保することができない。今回のように、画毎に移動して正字性を崩すことで、不必要な文字の断片化を防ぐことができ、複雑さをなるべく同一のものに保つことができると考える (図 4)。こうして作成した画像の一部は図 5・図 6 に示す。

各画像に対し、ターゲット刺激として用いるものには 100%のノイズを加えた。先行研究 (Almeida et al., 2008; Sakuraba et al., 2012) では 70%のノイズであるが、文字は道具や動物の画像に比べて単純で視覚的に認識しやすく、反応時間の天井効果が生じてしまいやすいと考えたため、より強いノイズを加えた。なお、この操作により漢字やひらがなの区別がつかなくなる被験者はいなかった。プライム刺激として用いるものに関しては、被験者毎に適用するためのコントラストを 10 段階用意し、画像各々に赤色や青色の要素をカットする処理を施し、実質的に緑のフィルタをかけるようにした。その画像の上に別途作成した赤と黒のランダムドットノイズを合成した。

手続き

プライム刺激とターゲット刺激の画像内容は互いに重複しないようにプログラムを作成した。また、ひらがなと漢字は別々のセッションで行い、混合されることが無いようにした。ひらがなと漢字を直接比較しなかったのは、仮にどちらかに有意なプライミング効果が得られたとしても、もう一方の文字種に対してプライミング効果が無かったとは言えず、適切な比較にならないと考えたためである。よって、本研究ではひらがなはひらがなのスクランブル画像と、漢字は漢字のスクランブルと各々対比出来るようにした。刺激は画面中央に約 7° の視角で提示した。ディスプレイのコントラストや輝度は各被験者で異なることがないようにした。

実験開始前、利き目を確かめるためにディスプレイの前にペンの先を提示し、被験者に両眼で円筒を通して見てもらった。その状態で片眼ずつ瞑り、ペン先が円筒を両眼で覗いたときと同じように見える方の眼を利き目として採用した。その後、各被験者に提示するコントラストを決定するために、確認課題を行った。確認課題ではコントラスト毎に、プライム刺激とノイズのみの刺激を半分ずつランダムに提示した。被験者はノイズ以外に何

か見えたかキーを押すことで反応し、その誤反応率を算出した。被験者が真にプライム刺激画像を認識していなければチャンスレベルの 50% に近づく。本研究では 45% 以上の誤反応率を示したコントラストを本実験で用いるコントラストとした。コントラストは低すぎると、処理に必要な情報量も減弱化する可能性がある。そのため、コントラストは各被験者がプライム画像を認識できない最大のコントラストで実施した。Bussche ら(2009)は、CFS 実験に関してこうした被験者の主観的認識を調べておくことが重要であると述べており、このプロセスは重要なものであると考えられる。

本実験で用いた刺激提示の流れは図 7 に示す。被験者はキーボードの 2 つのキーのうちどちらかを押すことで、ターゲット刺激が正字かスクランブルかを判断するよう求められた。実際に実験を行う前に 5, 6 トライアル程度実施し、被験者が課題内容を理解しているかどうか確認した。各トライアルは、最初に 500ms の固視点（十字）を提示し、その後 200ms のプライム刺激を提示する。この時、100ms 毎に異なるパタンのランダムノイズを提示しているため、10Hz の動的ノイズになっている。プライム刺激の提示時間は前述の通り 200ms のため、実際には 1 回だけノイズのパタンが変化していることになる。プライム画像は、ひらがなのセッションでは正字のひらがなか画をスクランブルにしたひらがなを提示した。漢字に関しても正字とスクランブルのどちらかが提示された。最後にターゲット刺激となる画像を最大 3000ms（被験者が反応するまで）提示した。プライム刺激とターゲット刺激の組み合わせは 90 通り存在し、本実験では 4 回繰り返すが、被験者の疲労を考慮して 72 回を 1 セットとし、計 5 セット実施した。各セットが終了するとプログラムが止まり、開始キーを押すことで次のセットを始められるようにした。こうすることで、被験者は自分のペースに合わせて次のセットに進むことができる。また、被験者毎にランダムにボタンマッピングを定め、反応するべきボタンを被験者間で変えている。

分析

分析対象は正字/スクランブル文字の各ターゲット種に対する反応時間(Reaction Time: RT)と誤反応率である。正字とスクランブル各々の文字種におけるターゲットへの RT からプライミング効果を算出する。プライミング効果とターゲット刺激の組み合わせとプライミング効果の算出方法は、図 8 に示す。プライム刺激とターゲット刺激の文字種が異なる条件の平均 RT から、文字種が一致する条件の平均 RT を減算することで求められる。これらを被験者毎に計算し、SPSS 21.0 を用いて対応のある t 検定を行った。なお、有意水準は 5% に設定した。また、データを分析する際に、誤反応直後の画像提示では直前の反応の影響を受けて RT 延長が生じやすく、こうしたデータも外れ値として分析から除外した。その他にも、キーの押下不良により記録として反応時間が延長してしまったことが確認出来るトライアルのデータは解析前に除外することとした。前述の通り、ひらがなと漢字各々についてプライミング効果を得るため、実際には正字ひらがなのプライミング効果、スクランブルひらがなのプライミング効果、正字漢字のプライミング効果、スクランブル漢字のプライミング効果が統計解析の対象となる。

また、誤反応率については 4 条件（2 プライム文字種 × 2 ターゲット文字種）の中央値

を算出した。

2-2 実験1 結果

ひらがなに関して、正字ターゲットのプライミング効果はスクランブルのそれよりも統計学的に有意に高い結果を示した(図9)。正字ひらがなのターゲットに関しては、正字ひらがなのプライム刺激が提示された時の方が、スクランブルのプライム刺激が提示された時よりも反応の加速が見られたことを意味している。正字ひらがなターゲットへの平均プライミング効果は7.062ms (SEM=2.622)であり、スクランブルひらがなターゲットへの平均プライミング効果は-1.881ms (SEM=1.986)であった。これらの結果に対し paired T 検定にて統計解析を行ったところ、 $t(19) = 2.741$, $p < .05$ であった。ひらがなに関しての各被験者の誤反応率は0%~2.22%であり、中央値は0.69%であった。

一方、漢字に関しては、正字ターゲットとスクランブルターゲットのプライミング効果は統計学的に有意な差は見られなかった(図10)。正字漢字ターゲットへの平均プライミング効果は1.985ms (SEM=2.322)であり、スクランブル漢字ターゲットへの平均プライミング効果は.582ms (SEM=2.666)であった。これらの結果に対し paired T 検定にて統計解析を行ったところ、 $t(19) = .380$, $p = .708$ (ns)であった。漢字に関しての各被験者の誤反応率は0%~2.5%であり、中央値は0.83%であった。

なお、確認課題における誤反応率などについては表1に示す。

考察

実験1より、ひらがなにはプライミング効果に有意な差が得られたが、漢字には有意な差は得られなかった。このことから、中心視野に提示した場合は背側視覚経路ではひらがなを特に強く処理していることを示唆する。さらにこのことは、背側視覚経路においてひらがなと漢字を区別する手がかりとして利用可能であることも示唆している。しかし、Pammer ら(2005)やVidyasagar (1999)は、背側視覚経路が障害された場合、単語の特徴や位置情報の処理が難しくなることを指摘しているが、さらにPammer ら(2006)はこうした読字障害は特に正字的処理による影響があると述べている。このことを考えると、ひらがなと漢字の両方に正字のプライミング効果が得られることが予想されるが、我々の結果はひらがなのみであった。ただ、今回の結果のみでは背側視覚経路において漢字と比べてひらがなに対してより大きな処理を行っている可能性があるとは言えない。それは、今回ひらがなと比べて画数が非常に多い漢字(例えば「機」など)を用いており、この画数の多さによる形態的複雑性が影響を与えたのではないかという可能性も考えられるからである。実験1では音・読みの要素を統制するために画数を考慮せず漢字を選択したが、画数がひらがなのように1~4画以内になるように漢字を選択した上で再度同様の実験を行った。

2-3 実験2 方法

被験者

20名の北海道大学医学部保健学科の学生及び、大学院保健科学院に所属する大学院生で、

以前にフラッシュ刺激により体調の変化を経験したことのない方に依頼した。インフォームドコンセントの取得方法は実験1と同様である。また、実験1で参加した被験者が10名参加しているが、本実験に関する仮説等は知らされていない。平均 22.35 ± 2.58 歳であり、女性8名、男性12名であった。被験者は全て右手利きであり、課題遂行に影響があるような視覚的な障害（視野や視力）はなかった。なお、実験2の被験者のうち12名は実験1にも参加している。

装置、手続きおよび統計

次に挙げる刺激の内容以外、実験1と同様である。

刺激

実験2では漢字のみを対象として行った。実験1で用いた漢字はひらがなの形態的複雑性の統一がなされていなかったため、文字の形態的複雑性の要因の一つと考えられる画数をひらがなのそれと統一して再度実験を行った。ひらがなは1画から4画であることから、実験2で用いる形態的複雑性の低い漢字も2画から4画にした。1画の漢字は「一」と「乙」のみであり、これらの漢字は画ベースによるスクランブルを行いにくい（文字全体の回転しかできない）ため、使用画像から除外した。漢字は10個選択し、実験1とは異なり音韻的要素の統制は行わなかった。使用した漢字の例、および実験1で使用した形態的に複雑な漢字の例を図11に挙げ、それらの漢字を用いた時の提示の流れを図12を示す。

2-4 実験2 結果

図13に正字・スクランブルのプライミング効果のグラフを載せる。画数の少ない漢字で行った場合においても、実験1と同様に正字ターゲットとスクランブルターゲットに対するプライミング効果で有意な差は見られなかった。正字ターゲットへの平均プライミング効果は3.38ms (SEM=3.90)であり、スクランブルターゲットへの平均プライミング効果は2.94ms (SEM=3.91)であった。paired T検定において、 $t(19) = -0.469$ となり、 $p = 0.644$ (ns)であった。また、本課題における各被験者の誤反応率は0~3.6%であり、中央値は0.83%であった。

なお、確認課題における誤反応率などについては表1に示す。

考察

ひらがなと同程度の少ない画数の漢字を用いても、実験1と同様に正字に有意なプライミング効果が得られなかった。このことは、実験1でひらがなのみで得られた正字プライミング効果は、「ひらがな」という文字に対してより大きくなるということを示唆しており、やはり背側視覚経路において漢字とひらがなを区別する情報が処理されている可能性を示唆する。

さて、このようにひらがなを強く処理することによってひらがなと漢字の区別を行うた

めに必要な情報が背側視覚経路で処理されている可能性があることが判った。それでは、文の読みに必要な眼球運動を引き起こすためにこうした背側視覚経路由来の漢字とひらがなの区別の情報が用いられているのだろうか。私たちは普段左から右に文章を読んでいるが、英語や日本語といった言語体系では注視している点から主に右の周辺視野より情報が引き出されていると考えられている (parafoveal preview benefit: Rayner, 1975; Rayner & Pollatsek, 1989; for review Rayner, 2009B)。中心視野から左右に広がる視野範囲は perceptual span と呼ばれ、右視野では約 5° 、左視野では約 1.3° に等しいことが判っている (McConkie & Rayner, 1975, 1976; Rayner & Bertera, 1979)。この情報は、現在単語の長さということは判っており、この情報は次に注視すべき単語の選定やサッケード幅の特定に用いられる (Ducrot & Pynte, 2002; Inhoff, Radach, Eiter, & Juhasz, 2003) ところが、これは単語と単語の切れ目 (語間空白) が明白な英語での知見である。この語間空白は単語間の境界線を意味する視覚的な手がかりとなることは知られており (Rayner, 1993)、日本語において語間空白は一般的な文章では用いられない。このことから、日本語においてスムーズに文を読むために右傍中心視野から得ている情報の一つに漢字とひらがなの区別に関する情報があるのではないだろうか。実験 1・2 ではひらがなを背側視覚経路で強く処理することによって漢字との区別をつけている可能性が示唆されたが、parafoveal preview benefit の現象と併せて考えると右傍中心視野にひらがなを提示した場合には正字プライミング効果が得られて、左傍中心視野では同効果が得られないのではないかという予測が立てられる。この件について、実験 1・2 で得られたひらがなに特異的な正字プライミングの効果を使用して次の実験 3 で確かめた。

2-5 実験 3 方法

被験者

20 名の北海道大学医学部保健学科の学生及び、大学院保健科学院に所属する大学院生で、以前にフラッシュ刺激により体調の変化を経験したことのない方に依頼した。インフォームドコンセントの取得方法は実験 1 と同様である。また、実験 1 で参加した被験者が 10 名参加しているが、本実験に関する仮説等は知らされていない。平均 22.35 ± 2.58 歳であり、女性 8 名、男性 12 名であった。被験者は全て右手利きであり、課題遂行に影響があるような視覚的な障害 (視野や視力) は無かった。なお、実験 3 の被験者は全員が実験 2 にも参加している。

装置

実験 3 は、提示視野に関する検討である。このことから、被験者が中央固視点を見続けることが出来ているか追跡する必要がある。よって、アイトラッカー (Tobii X60) を用いた。本装置のリフレッシュレートは 60Hz であり、Live View 機能を用いることでリアルタイムに被験者の視線移動が起こっているか確認することが出来る。ただし、本装置は赤外線を用いてヒトの眼球の方向を解析するものであることから、赤緑アナグリフを装着した状態では感度が落ちる (通常時の 60~70% 程度になる)。よって、実際のデータとして扱い、解析として用いるには不十分なものであるため、アイトラッカーの使用は検査者がリアルタイムで被験者が画面中央を注視しているかどうかの判断のみに使うものとした。

刺激

実験 1、2 より、ひらがなにおいて正字とスクランブルとの間に有意なプライミング効果が得られやすいことが解っている。よって、実験 3 ではひらがなのみを用いて実験を行った。漢字を用いなかった理由としては、実験 1・2 より背側視覚経路においてひらがなと漢字を区別するメカニズムとして、ひらがなを特異的に処理する（正字プライミング効果に有意な差が見られる）ことが判っているからである。

プライム刺激として実際に被験者に提示する画像は図 1 4 の通りである。提示するモニタ解像度、大きさの関係で各画像の大きさを 80% (500pixel から 400pixel へ) に縮小している。前述の通り想定される parafoveal preview benefit は中心視野から 5° の視角程度で発生する (McConkie & Rayner, 1975, 1976; Rayner & Bertera, 1979) ため、右視野提示条件では画像の左端を 3°、左視野提示条件では画像の右端を 3° ずらして提示するようにした。中心視野から離れれば離れるほど、視覚的解像度は落ち文字が読みにくくなる。今回は、文字が読める程度に左右へ刺激を移動させて提示することとした。また、実際にプライム刺激が提示される方向と中心の固視点を挟んで反対側にもブランクの画像にノイズを負荷した刺激を提示した。こうすることで、被験者が 200ms のプライム刺激提示時にその画像へ注視点が動きにくくしている。また、実験 1・2 とは異なり、プライム刺激を提示している時も注視点を継続して提示するようにし、注視を促した。被験者はどちらの画像に正字やスクランブルの文字が提示されたか知覚できない。なお、Fecteau ら(2004)は単語の一部である word stem と呼ばれる刺激を提示する際に 200ms の提示では注視点移動が発生しないとして実験を行っていることから、健常被験者では 200ms の間に視線が動くことは多くはないと考えられる。通常の読字時であっても 200-250ms は注視が続くことを示した研究 (Rayner, 1998) もあり、本研究において 200ms のプライム刺激の提示において被験者の視線が移動する可能性は低い。

ターゲット画像の大きさもプライム刺激と同様の大きさに設定し、提示した。

手続き

刺激提示の時系列的流れは、画像を左右のどちらかに提示すること以外はこれまでの実験と同様である (図 1 5)。アイトラッカーを用いるため、実験を開始する前にキャリブレーションを行った。キャリブレーションはデフォルトの設定である 5 点 (ディスプレイ中央と各コーナー) の方法を採用した。その後、実際の実験を行うが、検査者は Live Viewer という機能を用いることで被験者の視線の動きがプライム刺激提示時に左右にずれることが無いかどうかリアルタイムに目視で判断した。プライム刺激提示に際して注視ができず左右のどちらかにずれてしまうトライアルのデータは解析には用いないこととした。左右どちらにプライム画像を提示するかはセッション内では不変としたが、被験者はどちらにひらがなやそのスクランブルが含まれたプライム刺激が提示されたか弁別できない (実験後、口頭による確認でも知覚できた者はいなかった)。

2-6 実験3 結果

右視野へのプライム刺激提示時と、左視野へのプライム刺激提示時では異なるプライミング効果が得られた。右視野へのプライム刺激提示時のプライミング効果は図16に、左視野提示のプライミング効果は図17に示す。

右視野へのプライム刺激提示時では、正字ひらがなターゲットへの平均プライミング効果は 12.30ms (SEM=4.98)であり、スクランブルひらがなターゲットへの平均プライミング効果は-.63ms (SEM=2.61)となった。これらに関して paired T 検定を行ったところ、 $t(19)=4.050$, $p<0.01$ であった。また、本課題における各被験者の誤反応率は 0~3.9%であり、中央値は 1.11%であった。

一方、左視野へのプライム刺激提示時では正字ひらがなターゲットへの平均プライミング効果は 4.43ms (SEM=3.55)であり、スクランブルひらがなターゲットへの平均プライミング効果は-.70ms (SEM=3.02)となった。これらに関して paired T 検定を行ったところ、 $t(19)=1.517$, $p=0.146$ (ns)であった。また、本課題における各被験者の誤反応率は 0~3.6%であり、中央値は 1.25%であった。

なお、確認課題における誤反応率などについては表1に示している。また、プライム刺激を提示している時に、左右に眼球運動が見られる被験者はいなかった（被験者の口頭による主観的評価でも、全員がプライム刺激提示中に左右に眼球運動はしなかったと述べていた）。

考察

右視野にプライム刺激を提示した場合は、正字プライム刺激に有意なプライミング効果を得たが、左視野ではその効果が弱く有意差に至らなかった。このことは、右視野では中心視と同様にひらがなに関して背側視覚経路で処理されている可能性があるが、左視野ではその可能性は低いということを示唆する。つまり、背側視覚経路で特異的に処理されていると考えられるひらがなは、右傍中心視野に提示した場合でも同様に処理され、ひらがなと漢字を区別するための情報として parafoveal preview benefit の現象に寄与している可能性が示唆された。

3. 総合的考察

3-1 本研究の背景と実験手法の妥当性、結果の概略

本研究では、文を読む時に背側視覚経路が周辺視野における文字処理に関してどのような関わっているのか、ひらがなと漢字の情報処理に着目して検討した。読字に関わる情報が背側視覚経路で処理されているとする文献は散見される（Chase and Jenner, 1993; Cornelissen et al., 1998; Talcott et al., 2000; Pammer and Kevan, 2007; Pammer, Connell, and Kevan, 2009 など）が、大細胞系という括りで外側膝状核（Lateral Geniculate Nucleus: LGN）との関連について述べられていたり、コヒーレントモーション課題（様々な割合で一定の方向に動く刺激の動きを検出する課題）や、Frequency Doubling 課題（空間周波数変化によ

って背側視覚経路の感度を捉えようとした課題) といった課題成績と読字機能の関連性を見ている研究であり、後頭葉から後部頭頂葉を経由し、頭頂間溝周辺部に向かうと考えられている背側視覚経路の働きを捉えた研究は今までのところほとんど無い。また、こうしたコヒーレントモーション課題や Frequency Doubling 課題を背側視覚経路の感度の指標として扱ったときに、ディスレクシアで見られる背側視覚経路障害は読字の困難さと結びつきにくいということが判っている (Kevan A, and Pammer K; 2008)。さらに、Kinsey ら(2006)はコヒーレントモーション課題と視覚誘発電位 (Visual Evoked Potential; VEP) を用いて背側視覚経路の働きを推定し、音韻処理や正字処理といった読字機能と比較したところ、コヒーレントモーションに関しては音韻要素にも、正字要素にも関係が無いことが明らかになった。これは、コヒーレントモーションは広範な部位の活動しか見られないためであると彼らは述べている。これらの事実より、背側視覚経路の機能を推定する行動課題を読字課題と結びつけるのは難しいと考えられる。

一方、今回の Continuous Flash Suppression (CFS) を用いたプライミング実験は行動学的実験として以前から複数の研究が行われている (Almeida et al., 2008, 2010; Sakuraba et al., 2012, 2013)。CFS を用いた Fang ら(2005)の fMRI 研究によれば、CFS によって意識的に知覚されないようにした刺激であっても、頭頂間溝 (Intraparietal Sulcus; IPS) や V3A/V7 といった、大脳皮質の中でもより背側の部位が意識的に知覚されるときと同様に賦活することが言われている。これらの部位は Goodale ら(1992)の知覚-活動モデル (perception-action model) にける背側視覚経路の描写とも非常に良く適合している (Lin and He; 2009)。この CFS によってマスキングされ意識的に知覚に至らない状態の刺激であっても、後に起こる刺激に対して何らかの影響を与える「プライム刺激」として影響があればこれらの領域の賦活が見込まれるのである。背側視覚経路の働きを行動学的に示すのは難しいが、CFS を用いることでその働きを以前までの背側視覚経路の感度の指標を用いた方法よりもヒトの読字機能について詳細に推定することが可能であると考えられる。本研究では、CFS を用いて英語圏のような語間空白が無い日本語において、文の読みに必要な眼球運動を引き起こすための情報として PPC などの背側視覚経路において漢字とひらがなが区別され、スムーズに文を読むことに寄与している可能性を検討した。

本研究は3つの実験から成り立つ。実験1では同様の音韻的要素を持つひらがなと漢字を用いて、それらの実験を別々に検討した。ひらがなと漢字を別々に行った理由としては、プライミング効果の比較による解釈の複雑さがある。例えばひらがなと漢字を一つの実験系として組み合わせると画像を提示したとする。その際に算出されるプライミング効果はひらがなのプライミング効果と漢字のプライミング効果の二つである。これらのプライミング効果は、ひらがなであれば「漢字がプライム刺激として提示された時の平均反応時間」から「ひらがながプライム刺激として提示された時の平均反応時間」を減算した値となる。漢字のプライミング効果については「ひらがながプライム刺激として提示された時の平均反応時間」から「漢字がプライム刺激として提示された時の平均反応時間」を減算した値である。この条件において、ひらがなのプライミング効果が生じた場合、「ひらがなに対して背側視覚経路が処理されている」ということは言えないのである。なぜならば、プライ

ム刺激として提示された漢字がどのような影響を及ぼすか推定しにくいためである。漢字は（ひらがなも同様であるが）音韻的要素も持っていれば、何らかの意味的情報も持っている。このように漢字やひらがなには様々な要因が含まれるため、単に有意なプライミング効果が得られたとしても、その解釈が非常に難しくなってしまうことが想定されるため、より比較すべきものを焦点化する必要がある。ただ、被験者に求める反応を複雑にすれば、ミリ秒単位の変化を検討する反応時間を用いる課題としては不適切になってしまうため、以前の Sakuraba ら(2012)のような二者択一の課題を作成する必要があった。そこで今回、正字と同じレベルの視覚的複雑性を保ちつつ、読むことができないスクランブル文字を作成し、それらと正字を比較検討する必要があった。被験者に求める反応としては「正字かスクランブルか」の二択になることもあり、ひらがなと漢字を同時に計測することはできない。また、文字スクランブルの画像を作成する時には視覚的複雑さの変化が無いようにしなければならない。一般的な文字処理の流れは、視覚的に形態が捉えられてその情報から意味や音韻の情報が引き出される (Zabelina DL et al., 2013) ことから、視覚的形態のもたらす変化は非常に重要なものであると考える。例えば、文字を一つの画像としてその画像自体をスクランブルにする手法は Thuy DH ら(2004)のように、意味プライミング実験を行う時にはよく行われてきた。ところが、こうした方法では文字の画（「かく」: stroke）が分断され断片化されてしまい、視覚的複雑性を高めてしまう原因になってしまうのではないかと考えた。そこで我々は画数を増やすことがないよう、一つの画を回転、移動することによって視覚的複雑性を保つような画像を作成した（図4）。具体的な画像の作成方法については、方法の項ですでに詳述した。こうして、実験1ではひらがなと漢字について各々正字・スクランブル画像を作成し、実験を行った。その結果、ひらがなには正字に対して有意なプライミング効果が得られたが、漢字に対しては有意なプライミング効果は得られなかった。ところが、この漢字に関しては音韻的要素に関してひらがなと一致させるよう設定したため、画数が多い文字も含まれていたことから、こうした画数の多さによる視覚的複雑性の変化が実験1におけるひらがなと漢字のプライミング効果に関する影響の差として現れているのではないかと考えた。

そこで、実験2ではより単純な漢字ではプライミング効果が得られないか検討した。具体的には、ひらがなと同じように1～4画の漢字を用い、画数の面から視覚的複雑性を調整した上で、それらの文字をスクランブルにし、再度被験者に提示した。その結果、やはり実験1と同様に正字とスクランブルのプライミング効果に有意な差は得られなかった。よって、実験1と2からは背側視覚経路は漢字というよりも、ひらがなに対して強い処理を行っているということが判った。背側視覚経路ではひらがなを特異的に処理できるため、文の読みにおいてひらがなと漢字を区別できる可能性が示唆される。今日我々が普段読んでいる日本語や英語は、左から右へ向かうことが多いが、これらについては緒言でも述べた通りであるが興味深い事実がある。右傍中心視の文字（perceptual span 内）から引き出される情報によって中心視における処理が促されるという、parafoveal preview benefit という現象が存在するのである (Rayner, 1975; Rayner & Pollatsek, 1989; for review Rayner, 2009B)。右傍中心視野で処理されていると考えられている情報の一つに単語の長さがあるが (Ducrot & Pynte, 2002; Inhoff, Radach, Eiter, & Juhasz, 2003)、これらの研究は単語間に空白

がある英語圏などでの成果である。単語の切れ目が無い日本語や中国語では、ひらがなに空白を入れると文の読みが効率化した、漢字仮名交じりではそのような促進効果が得られなかったとする研究 (Sainio, Hyona, Bingushi, and Bertram; 2007) があり、中国語圏においてアイトラッカーを用いた研究では単語ベースでサッケードによるターゲット選択が起こっていると説明できない部分があるということも判っている (Li, Liu and Rayner; 2011)。特に、Sainio ら(2007)の日本語に語間空白を入れた研究からは、ひらがなのみの文章では、語間空白を入れることによって眼球運動誘導にも影響を与えたが、漢字仮名交じり文では、そのような効果は無かったことを示している。このことから、漢字とひらがなが右 **perceptual span** 内で何らかの形で区別され、その情報が文を読む時の最適な眼球運動として働いている可能性を示唆すると考える。**Parafoveal preview benefit** は英語のみならず日本語にも存在することは確かであるがその性質には不明な点が多く、CFS のようなマスキングをかけた場合でも生じるものなのかは不明である。**parafoveal preview benefit** は連続的な読字を行う際に、右側にある次の注視点を決める際に用いられ、眼球運動と関連しているものと思われる (Rayner, 1998, 2009A)。文を読む時の眼球運動の障害は、頭頂葉後部 (Posterior Parietal Cortex; PPC) が選択的に障害されると、視野が保たれていても文章を目で追いながら読み進めることはできないことが知られている (Zihl & Hebel, 1997)。一方で、後頭葉の白質・視床の損傷による半盲生難読 (hemianopic dyslexia) で、特に右傍中心視野の障害でも文を読む速度が低下したり、読み飛ばしが多くなる (Zihl, 1995; McDonald et al., 2006) などの、似たような臨床像を呈する。このことから、背側視覚経路の一部と考えられる PPC は文を読む時に右傍中心視野から入る情報、すなわち次に読むべき文字情報を何らかの形で処理している可能性があり、**parafoveal preview benefit** との関連がある可能性がある。そこで今回の実験により、CFS のようなマスキングをかけた状態でも本現象が生じることが証明されれば、**parafoveal preview benefit** は背側視覚経路で処理されている情報が関与しているということが示されるのである。

そこで、実験 3 ではプライム刺激であるひらがなを左右に移動して提示し、その後に画面中央に提示されるターゲット刺激に対してどのような反応時間の変化が見られるかについて検討した。**E-Z Reader** という、文を読む時の眼球運動モデルのベンチマークによれば (Rayner, 2009B)、読字時の平均注視時間は 200-250ms と言われており、また **perceptual span** は左方向に 3-4 アルファベット、右方向に 14-15 アルファベットとなっており、これは視角にして各々左約 1.3° 、右約 5° に相当する (McConkie & Rayner, 1975, 1976; Rayner & Bertera, 1979)。また右傍中心視から得られる **parafoveal preview benefit** は正字的、音韻的要素は関係している可能性があるが、語義的情報に関しては関与していないことが既に知られている (Altarriba et al., 2001; Rayner et al., 1986)。これらのベンチマークの情報と、画像提示時の大きさを考えると、画像を中心から左右に 3° 移動させるのが適当であると判断した。つまり、右に移動したときの左端が 3° 、左に移動したときの右端が 3° である。左方へ 3° 移動すれば **perceptual span** は外れるが、右方へ 3° 移動した場合は **perceptual span** を外れない。そして、左右ともに同じ視角ずつ移動させることで、中心視野から離れることによる視覚的解像度の低下による影響を打ち消すように画像を提示した。また、Almeida ら(2008, 2010)や我々 (Sakuraba et al., 2012, 2013) が用いた CFS のプライミングパラダイムでは、プ

プライム画像の提示を 200ms として設定している。この時間長は先述の E-Z Reader のベンチマークによれば読字時の注視時間の下限であり、被験者が視線を動かす可能性は低いものと思われる。加えて我々は今回、アイトラッカーを用いて被験者がプライム刺激提示時に固視点を注視しているかどうかリアルタイムで確認した。ただし、赤緑アナグリフを用いた実験において得られるこのデータは通常の手法で取られるものよりも精度が落ちてしまう。それは、アイトラッカーの測定原理による。アイトラッカーは瞳孔の動きを追跡するために赤外光を使用しているが、赤緑アナグリフを用いることでその瞳孔の動きを追跡しにくくなってしまう。このことから、60-70%程度の精度しか保てず、統計学的な解析に耐えうるデータではないと考える。よって画面の中心を注視しているかどうかの判定のみにしか用いられないと判断し、今回データの収集を行っていない。アイトラッカーの Live View 機能を用いることで、リアルタイムで被験者の視線位置を知ることができ、プライム画像提示と合わせて左右へ視線が移動した場合はそのトライアルを解析から除外するという手法をとった。ところが、今回行った研究では左右へ視線が著しく移動してしまう被験者はおらず、視線に関しての除外データは存在しなかった。このことは、健常被験者に関しては 200ms 程度の刺激提示ではボトムアップ型の視線移動起きにくいということを意味し、Fecteau ら(2004)の実験で用いた 200ms という word stem の提示時間の妥当性を保証する事実であると考ええる。また、プライム刺激の対象となる方向の逆の方向にもダミーとなるブランク画像に CFS 処理を行ったものを提示したため、左右のどちらかにのみ刺激を提示するときよりも安定した注視ができていた可能性があると考ええる。

実験 3 では右視野にプライム刺激を提示したときには正字ひらがなに対して有意なプライミング効果の増加が見られ、実験 1 と同様の効果が得られた。一方、左視野にプライム刺激を提示した時は、やや正字ひらがなに対してプライミング効果の増加が見られたが、有意差には至らなかった。このことは、右傍中心視における parafoveal preview benefit を反映しているものと思われる。ひらがなに関して、CFS により意識的知覚に上らず背側視覚経路で処理されていると考えられるような文字情報という条件であっても、同様の parafoveal preview benefit が得られたという今回の事実は Goodale ら(1998)が提唱する IPS 周辺部のような部位における文字関連情報の処理が parafoveal preview benefit に関与している可能性があることを示唆する。

実験 1 から 3 の結果を総合してまとめると、背側視覚経路では漢字よりもひらがなでより強い処理がなされており、そこで処理される情報は右傍中心視で提示した場合に生じる parafoveal preview benefit の発生に必要な情報として処理されている可能性が示唆された。

3-2 提示視野と背側視覚経路、文字処理の関連性

実験 3 の結果より、プライム刺激としてひらがなを提示する位置を左右に配置すると異なる結果が得られることが判った。すなわち、右側に CFS でマスキングしたプライム刺激を提示すると正字ひらがなへの有意なプライミング効果が得られるが、左側だと有意な効果は得られないのである。このことは、前述の parafoveal preview benefit の概念と一致する結果である。つまり、ひらがなにおいては背側視覚経路で処理されている情報が parafoveal

preview benefit の要因の一つになっている可能性があると考えられる。先述のとおり CFS で推測することができる背側視覚経路の活動は Fang ら(2005)によれば、V3A や IPS 周囲であると考えられるが、プライム刺激として右側にひらがなを 200ms 提示した時、正字や音韻に関する情報の一部が本領域にて処理され、その後画面中央に提示されるひらがなのターゲット刺激の反応加速に貢献したのではないかと考えられる。Rayner (1998)が明らかにしたように、読字時に同じ文字位置を注視する時間は約 200ms-250ms であり、その時間内で得られた情報を用いて次の文字位置へサッケードが起こることが推定されるが、今回プライム刺激として提示した時間はこの範囲内であり、本プライム刺激を何らかの情報としてコーディングしていたことは保証されるのではないと思われる。また、今回左右に同じ程度（視角にして 3° ）移動した刺激であっても、左右によってプライミング効果のパターンが異なることは、読字時に注視点から広がりを持ち情報を得ることが出来る視野範囲である perceptual span (McConkie & Rayner K, 1976)が左右非対称で右により広く伸びているという考え方を支持する事実として捉えられると考えられる。また、こうした parafoveal preview benefit が生じるための情報は「単語の長さ」がすでに挙げられている (Ducrot & Pynte, 2002; Inhoff, Radach, Eiter, & Juhasz, 2003)。ところが今回の実験で用いた刺激は単語ではなく、ひらがな一文字である。単語の長さというのは、アルファベットを用いる英語圏という条件がつき、日本語は語間空白を用いない言語形態である (Sainio et al., 2007)。こうした語間空白は単語間の境界を示す有力な視覚的手がかりであり、アルファベットなどでは非常に重要であると Rayner ら(1992)は述べているが、こうした空白のない日本語や中国語における parafoveal preview benefit の役割との関連性は十分に調べられていない。Sainio ら(2007)は英語の時よりも語間空白による効率的な文の読みへの効果が低いと述べており、perceptual span 内で発生する情報が単語の長さだけであるとは考えにくい。今回の結果は、単一のひらがなを示しても parafoveal preview benefit が得られたが、このことは、単語だけではなく、右傍中心視に置かれたひらがな一つ一つの正字的情報が引き出されている可能性がある。このことは、単語の中心をターゲットにしてサッケードを起こしているのではなく、単語の切れ端とは無関係な可能性があるという constant distance model による仮説 (Li X et al., 2011) を支持する結果とも捉えられる。つまり、単語の切れ端を構成するような空白や単語のような長さを持つ複数の文字ではなくても、右傍中心視野では情報が処理されるということである。

さらに、このようにして得られた正字的情報は、次の注視点へ移行するために用いられると考えられるが、実際に我々が日常で読んでいるのは漢字仮名交じりであり、ひらがなだけの文章ではない。こうした漢字とひらがなが混じり合った文章を読むとき、ひらがな（やカタカナ）よりも漢字に注視点が置かれやすいことが明らかになっている (Kajii et al., 2001)。この事実は一見すると、今回の結果とは食い違うように見える。しかし、右傍中心視野でひらがなのみに関して何らかの識別ができるのだとしたら、それ以外の文字形態は殆どが漢字であるため、ひらがなを識別した上で次の注視点として「未識別の」漢字を選択する傾向が日本語にはあるということも言えるのではないだろうか。傍中心視野情報は音韻構造のような複雑な言語的情報も活性化させることが明らかになっており (Ashby and Martin, 2008; Ashby & Rayner, 2004)、こうした音韻構造との結合力の違いがひらがなと漢字

の識別の情報源になっている可能性もあると考える。

今回の結果において、我々が最も重要視するのは右傍中心視野で生じる **parafoveal preview benefit** が背側視覚経路の領域で処理される内容と関連があるということであるが、左右における差にはどのような意味があるのだろうか。今回の結果では、確かに右傍中心視野における正字ひらがなターゲットに対するプライミング効果がスクランブルのそれよりも有意に高い傾向を示した。この結果は右視野に提示した単語の同定は素早くて正確であるという報告 (Iacoboni and Zaiel, 1996; Jung-beeman and Chiarello, 1998) と一致する。ただ、この事実に関して、Fecteau ら(2004)は興味深い結果を報告している。彼らは、プライム単語を瞬間的に注視点の左右に無意識提示した後に、**word-stem** という 2,3 アルファベットのセットで始まる文字列を提示し、その文字列から単語を完成させるという手法を用いた。するとプライム刺激の単語を言わないようにする **exclusion** 課題において、プライムの単語を言ってしまうエラーが左視野への瞬間提示で多かったからである。彼らはこの結果をプライム単語の無意識的処理が左視野で強く出たと解釈し、意識的にアクセスできなくても左視野からの情報を処理することが出来るのかもしれない、また右視野への提示時にも条件によっては **exclusion** 課題のエラーが増えたことに関しては右視野への提示は意識的気づきと結びつきやすいという考察をしている。彼らの考察は普段左から右へ向かう言語を扱う者について情報処理量が右傍中心視野では多くなりやすいと解釈すれば、**parafoveal preview benefit** の概念と相反しないと考える。ただし、今回の我々の結果はプライム刺激に対して **CFS** を用いており、被験者は意識的に文字を知覚できていないという点で異なる。今回我々の得たプライミング効果の差異はプライム刺激が知覚されていたからではないのである。また、左視野で無意識的処理が起こることに関しては、今回の結果と同様のことを示唆している。実験 3 より、左傍中心視野においてはその効果は有意なものではなかったが、プライミング効果が全く無かったとは言えず、**4.43ms** の反応加速が見られた。今回用いた **CFS** は背側視覚経路の働きを示すプローブとして用いたが、無意識的処理を促すという側面も持ち合わせており、そのことが今回の微量な反応加速に寄与したのではないかと考えられる。つまり、今回無意識的プライム刺激の提示であるにも関わらず、左傍中心視野では有意な正字-スクランブルの間のプライミング効果が得られなかったのは、**CFS** のマスキングという側面での何らかの特異性によるものなのかも知れない。Hesselman ら(2011)は **CFS** とは異なる種類の両眼競合技術を用いると背側視覚経路と意識の関係が見いだせなかったということを示しており、この **CFS** のマスキングとしての特異的性質については今後、さらなる検討が必要なのではないかと考える。また、先述の Fecteau ら(2004)は脳梁離断の患者に対して同様に視野と無意識的文字処理の実験を試行し、片方の視野に提示された無意識的単語の読字は双方の半球に影響するということを述べているが、今回の研究では左視野に提示する条件と右視野に提示する条件を分けて検討しているため、半球間での情報処理の共有に関する影響は殆ど無いものと考えられる。

左右の半球におけるひらがな、漢字の処理の違いについて言及する論文もある。Horie ら(2012B)の **fMRI** を用いた研究では、低空間周波数情報は左 (優位半球、以下同様) **IPL** におけるひらがなの処理に重要であり、高空間周波数情報は左 **IT** における漢字の処理に重要

である、と述べている。また、左半球はブローカ野などの言語に特化した領域が存在することは広く知られており、左半球と言語的処理の関連性は非常に強いものと推測される。今回の研究において、右視野に提示されたプライム刺激の文字情報の殆どは視交叉を経て対側の外側膝状体を經由し、後頭葉に向かう。Fang ら(2005)は CFS 下においてはその情報は後頭葉から背側視覚経路に”漏れ出している”可能性と、外側膝状体から V1 を經由しないで MT 野 V5 野といった方面に直接的な投射がある可能性を指摘している。いずれにせよ、右視野に提示されたプライム刺激の文字情報は対側半球である左半球の背側視覚経路関連領域に到達する可能性がある。もし、Horie ら(2012B)の指す IPL の領域が真に Fang ら(2005)の fMRI による研究の IPS 周辺部と範囲を共有するのであれば、低空間周波数情報が漢字と比べて多いとされるひらがなが左半球の IPL にて右半球のそれよりも強く処理され、その結果、その処理がその後に提示されるターゲットへの反応に関わった。逆に言うと、左視野に提示され、右半球の IPL 領域に到達したひらがなであっても左半球ほどの強い処理を受けず、結果的に有意なプライミング効果に結びつかなかったと解釈することが出来る。

3-3 ひらがなと漢字の処理の違いに関する考察

本実験では、ひらがなには有意なプライミング効果が得られ、漢字ではそのような効果が得られなかった。ひらがなと漢字に関しては様々な研究報告が散見されるが、Nakamura ら(2005)は意識に上らないレベルで提示される漢字やひらがなの単語に関して興味深いモデルを立てている。彼らのモデルは以下の通りである。プライム刺激が漢字でターゲット刺激も漢字である場合、正字-レキシコン(意味を検索するための処理要素)の経路を通り、そのレキシコンから意味へと繋がる。その結果、強いプライミング効果が正字的、意味的にも得られるだろうとしている。今回の結果では、同様の漢字プライム刺激-漢字ターゲット刺激の組み合わせであっても、特に大きなプライミング効果は得られなかった。このことは、CFS が背側視覚経路に向かう情報以外をブロックしており、このことで漢字が正字レベルで処理されなかったと解釈できる。また、Nakamura ら(2005)のモデルにおいてプライム刺激がひらがなでターゲット刺激もひらがなであった場合、こちらも正字的経路の活動が得られ、さらにレキシコンから意味に向かう経路についても活動するだろうとしている。つまり、正字的な要素の活動が最初にかかるべきであるが、今回の CFS を用いた結果でも、正字的要素が背側視覚経路で処理されたために、プライミング効果が得られたと解釈することが出来る。今回の結果と Nakamura ら(2005)の研究を合わせて考えると、背側視覚経路では正字的要素が処理されているが、それはひらがなに限定したものであり、漢字に対する処理は弱いものであるということが言える。

また、背側視覚経路と何らかの形で変形させた文字の関係について検討した論文は散見されるが、それらは文字の回転や画面中心に文字がかかる程度に左右にずらす手法(Cohen et al., 2008)や、Mixed Case と呼ばれる大文字や小文字を組み合わせた手法(Mayall et al., 2001)、あるいは Shifted Words と呼ばれる単語内の文字を上下交互に並べたものを提示する手法(Pammer et al., 2006)、または中国語において簡体字の部首を引き離す手法(Sun et al., 2011)である。これらは全て単語全体として何らかの変化が加えられているが、文字という要素を排除したものではない(簡体字の部首を引き離す手法も、部首自体の並び順が同

じであれば文字の要素を完全に排除しきれないとする)。一方我々が用いたスクランブル刺激は、単一の文字に対してその「かく」をランダムに再配置するという手法を用いており、読字可能な文字ではない状態で提示している点で先行研究とは異なる。背側視覚経路は letter-by-letter (逐次読み) に関与する (Cohen et al., 2008) ことから考えると、読字可能な状態で何らかの視覚的变化を加えた場合、背側視覚経路の賦活をもたらすのではないかと考えられる。文字を単に回転させるだけであったり、反転させたり、位置を変えるだけでは正字ひらがな/漢字の比較対象としてのスクランブル文字としては不適切である。つまり、正字との比較対象にするのであればスクランブル文字自体が背側視覚経路の賦活に関与しないようにしなければならないのである。実際に、結果としてスクランブル文字に対するプライミング効果はゼロに近い、すなわちプライム刺激がターゲット刺激に何の効果ももたらさなかった (反応時間の変化を与えなかった) と解釈することができる。この意味では、我々の用いたスクランブル刺激は上述の変形させた文字と違い背側視覚経路の賦活に関与せず、比較対象として適切であったのではないかと考える。

それでは、なぜひらがなと漢字において背側視覚経路でこのような処理の違いが出てくるのだろうか。今回の結果を異なった視点から解釈することもできる。それは、漢字とひらがなのもつ特徴にある。Hino ら(2011)の述べている通り、漢字は直接的に意味を表現する表語文字 (logographic script) と呼ばれる。一方でひらがなはモーラ (音を表す一単位) との結びつきが強く、表音文字と呼ばれている。こうした違いは、処理経路の違いにも反映され、前者は正字-意味 (orthographic-semantic: O-S) 経路を強く反映し、後者は正字-音韻 (orthographic-phonological: O-P) 経路を強く反映している。これらの経路での活動はひらがなと漢字では大きく異なるはずであるという文献も散見される (Frost, 2005; Wedell T, Butterworth B, and Patterson K, 1995)。こうした経路の違いが背側視覚経路の関係性に関わっている可能性がある。つまり、正字から音韻に向かうルートは背側視覚経路で処理される情報と共有しやすく、プライム刺激でひらがなが提示された時に何らかの音韻情報まで引き出された状態になっているが、漢字がプライム刺激として提示された場合、音韻情報というよりは意味的情報のルートを取りやすくこのルートは背側視覚経路で処理される情報と共有しにくいのではないかと考えられる。つまり、今回の CFS による結果は背側視覚経路が正字的要素から音韻的な情報を引き出す場合に関して言えば、その処理情報が使える可能性があるのではないかと考える。この可能性は、Sakurai ら(2008)も仮説として指摘している。漢字とひらがなは別の神経経路として、背側音韻経路は音韻と結びつけるのに特化しており、ひらがなの文字を処理している。一方で、腹側正字経路では単語の形態の認識を行い、意味に結びつける役割を担い、漢字とひらがなの両方のタイプの文字、そしてひらがなの単語を処理するという仮説を立てている。ただし、今回の結果は Goodale ら(1992)の背側視覚経路と Sakurai ら(2008)の背側音韻経路が同一のものであるということは言えず、今後さらなる検討が必要である。今回の研究に関して言えば、漢字に関して、実験 1 で画数が多く視覚的形態が複雑なものを使用しても、実験 2 で画数が少なく視覚的形態が簡単なものを使用してもプライミング効果の結果が変わらなかったこととも一致する。また、実験 1 ではひらがなと漢字を別個の実験として行ったが、ひらがなと漢字から引き出される音韻情報が同じものであるように文字を抽出した。引き出されるであろう音韻

情報が同じであるにもかかわらず、ひらがなと漢字で異なるプライミング効果のパターンが得られたということは、やはりひらがなと音韻との結びつきの強さ、あるいは漢字と音韻の結びつきの弱さが背景にある可能性もある。こうした推測が正しければ、同一の表音文字であるカタカナを使用した場合もひらがなと同様の結果が出るのではないかと考えられる。また一方で、黙読時における音韻的处理は、文を読む時の流れるサッケードの中で情報を統合するために使われている (Chace et al., 2005; Miellet & Sparro, 2004) ことから、正字的処理が前提として挙げられることは言うまでもない事実であるが、正字的ステージのかなり早期の段階で文字位置の処理を行っているという研究もあり (Perea M, Nakamtani C, Leeuwen CV, 2011)、こうした文字の位置 (文字を入れ替えた単語か、正しい単語か) に関する情報も CFS 下で処理されうる可能性がある。

さらに今回のひらがなと漢字の結果の差異を別の視点から考えると、より低次の視覚的情報の役割についても考察できる。Horie ら(2012A)は fMRI を用いて漢字とひらがなの読みにおける空間周波数の役割に関して検討している。前述の Sakurai ら(2008)の二経路仮説と大細胞系、小細胞系の経路の違いについて、背側音韻経路は大細胞系由来の低空間周波数が処理されているとし、一方で腹側正字経路は小細胞系由来の高空間周波数情報が処理されていて、視覚的複雑性の高い漢字が処理されているのではないかという仮説を立て、低空間周波数要素や高空間周波数要素のみを抜き出した文字を提示して ERP を用いた研究 (Horie et al., 2012B) と組み合わせた考察をしている。結果として、高空間周波数を強調した漢字は左 IT 領域を賦活させ、低空間周波数を強調したひらがなは左下頭頂小葉 (Inferior Parietal Lobule: IPL) 領域を賦活させた。このことから、仮名と低空間周波数、漢字と高空間周波数の各々に密接なリンクが存在すると考えられるが、彼女らの指す IPL 領域は文字に関連して賦活することが知られている縁上回等の広範な領域を指している。我々の結果と併せて考えると、頭頂間溝周囲の背側視覚経路が関与すると思われる意識に上らないひらがなの処理に関しても、この空間周波数が関わっている可能性が考えられる。漢字に関して言えば、プライミング効果が得られなかった今回の我々の結果と Horie ら(2012B)の結果は IPL において賦活が見られないという点では一部一致しているのではないかと思われる。

ただし、Nakamura ら (2005) や Hino ら (2011) の正字、音韻、レキシコン、意味の繋ぎの経路は具体的な脳の部位との関連性に乏しい。今回、正字から音韻に向かう経路は背側視覚経路の情報と共有していることは考察できるが、これらが全く同じ神経線維のレベルで共有しているとは思えない。こうした経路について調べるのが難しいのは、fMRI などで賦活部位が特定できても時間的経過の要素を含む「経路」に関する情報を特定するには至らないのである。今後、時間的解像度の高い脳磁図 (MEG) や、fMRI でも Dynamic Causal Modeling (DCM) などといった解析手法を用いて、正字情報から音韻、レキシコン、意味へ向かう経路がどのようなルートをとるのか検討すべきであると考えられる。

4. 本研究のまとめと限界および今後の展望

本研究では背側視覚経路、特に頭頂間溝周辺部の活動を推測する CFS を用い、語間空白のない日本語においては背側視覚経路でひらがなや漢字を区別しており、そのメカニズム

はひらがなを特異的に処理することによって実現している可能性が示唆された。また、そのひらがなに特異的な処理は文を読む時の眼球運動に必要な右傍中心視野に提示した場合でも同様に生じている可能性があることが判った。このようにひらがなのみに正字プライミング効果が得られたことは、背側視覚経路のみの働きでも漢字とひらがなの識別を正字的に行っている可能性があり、そのことが文を読む時の眼球運動と関わっている可能性がある。また表語文字である漢字というよりはむしろ表音文字であるひらがなに関して正字的プライミング効果が得られたが、この効果は正字から音韻に向かう背側音韻経路(Sakurai et al., 2008)に必要な情報を処理している可能性がある。また、既存の視覚経路仮説(Ungerleider and Mishkin, 1982; Goodale and Milner, 1992, 2008)より、腹側視覚経路ではより精細な情報、背側視覚経路では素早い粗い情報を運ぶことは指摘されているが、こうした粗い情報からは意味情報とは結びつきにくいものの、その正字的処理を行うには十分な情報が背側視覚経路で運ばれている可能性が明らかになった。この背景としては、ひらがなのように低い空間周波数要素が多く、かつ意味情報よりも音韻情報と結合しやすいことが挙げられるが、より詳細な行動学的あるいは脳機能イメージング的検討が必要である。また右傍中心視にひらがなを提示することで同様の処理がされることが明らかになり、parafoveal preview benefit (Rayner, 1975; Rayner & Pollatsek, 1989; for review Rayner, 2009B)の要因となる情報は背側視覚経路内で処理されている可能性が示唆された。単語ではなく、文字を提示しても本現象が発生すること、また CFS 下のような意識的知覚に上らないようにマスキングされた状態でも本現象が生じること、そして頭頂間溝周囲といった背側視覚経路で本現象が生じるための情報の一部が処理されている可能性があることが判った。ただし、ひらがなと背側視覚経路に関する可能性、または正字要素や音韻要素と同経路の関連性は脳の具体的部位との関連性に乏しい現状があり、今回発見された可能性が実際の文の読みに利用されているか検討していく必要があると考える。また、右傍中心視において背側視覚経路と文字処理の可能性があることは、言語の処理に主に関わる優位半球(左大脳半球)が関与している可能性もあり、半球差も含めて文字の処理段階をより精細に分析していく必要があると考える。今後、こうした不明瞭な点を解明するためには日本語の利点を生かして左右ではなく上下に文字を提示した時のプライミング効果を今回同様に検討したり、より背側視覚経路の働きを詳しく分析できるような fMRI の Direct Causal Modeling を用いた検討や脳磁図(MEG)を用いてより時間分解能の高い検討をしたり、さらに経頭蓋磁気刺激法(Transcranial Magnetic Stimulation: TMS)により疑似的に病巣を作り出す方法による検討が必要である。また、CFS の性質についてまとめられた文献も散見される(Lin and He, 2009; Yang and Blake, 2012)が、CFS が実際にどのような情報をブロックしているのか、あるいは通しているのか、またその部位はどこなのかについては解明されていない現状がある。このことに関しても、様々な脳機能イメージング手法から検討する必要があるのではないだろうか。

本研究では、背側視覚経路が文字の認識に関与しており、スムーズな文の読みを実現するための眼球運動にその情報が使われている可能性が示唆された。このことは、今まで主に腹側視覚経路などの側頭葉領域や角回・縁上回といった下頭頂小葉の中でも側頭葉に近い領域の役割であると考えられた文字に対する処理が頭頂葉のさらに背側領域でも行われ

ている可能性があることを新しく示すものである。今回の発見は、ヒトの読字システムの解明、またディスレクシアや半盲性難読、その他頭頂葉の損傷による読字困難といった臨床例における病態理解と治療介入につながる一步として捉えられると考えられる。

謝辞

本論文の作成にあたり、終始丁寧に指導して下さいました主任指導教員で北海道大学大学院保健科学研究院生活機能学分野の境信哉准教授、同じく医用生体工学分野の横澤宏一教授に感謝の意を表します。

また、被験者として協力頂いた北海道大学医学部保健学科理学療法学専攻および作業療法学専攻の学部生、同大学大学院の院生の皆様には感謝の念にたえません。本当に有り難うございました。

4. 参考文献

- Almeida, J., Mahon, B.Z., Nakayama, K., Caramazza, A.. Unconscious processing dissociates along categorical lines. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 30, 15214-15218, 2008
- Almeida, J., Mahon, B.Z., Caramazza, A.. The Role of the Dorsal Visual Processing Stream in Tool Identification. *Psychological Science*, 21 (6) , 772-778, 2010
- Altarriba J, Kambe G, Pollatsek A, Rayner K. Semantic codes are not used in integrating information across eye fixations in reading: Evidence from fluent Spanish-English bilinguals. *Perception & Psychophysics*. 63:875–890, 2001
- Ashby, J., & Rayner, K. Representing syllable information in word recognition during silent reading: Evidence from eye move-ments. *Language & Cognitive Processes*, 19, 391 – 426. 2004
- Ashby, J., & Martin, A. E. Prosodic phonological representa-tions early in visual word recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34, 224 – 236. 2008
- Boden C and Giaschi D. M-stream deficits and reading-related visual proceses in developmental dyslexia. *Psychol Bull* 133(2). 346-366, 2007
- Bruck M. Word recognition skills in adults with childhood diagnoses of dyslexia. *Developmental Psychology*, 26, 439–454. 1990
- Chase C, Jenner A. Magnocellular processing deficits affect temporal processing of dyslexics. *Annals of the New York Academy of Sciences* 682 326-329, 1993
- Chace, K. H., Rayner, K., & Well, A. D. Eye movements and phonological preview benefit: Effects of reading skill. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 59, 209–217. 2005
- Chao, L.L., Martin, A.. Representation of Manipulable Man-Made Objects in the Dorsal Stream. *NeuroImage*, 12, 478-484, 2000
- Cohen, L., Dehaene, S., et al. Reading normal and degraded words: Contribution of the dorsal and ventral visual pathways. *NeuroImage*, 40, 353–366. 2008
- Colby CL, Gattass R, Olson CR, Gross CG. Topographical organization of cortical afferents to extrastriate visual area PO in the macaque: a dual tracer study. *J Comp Neurol* 269:392–413, 1988

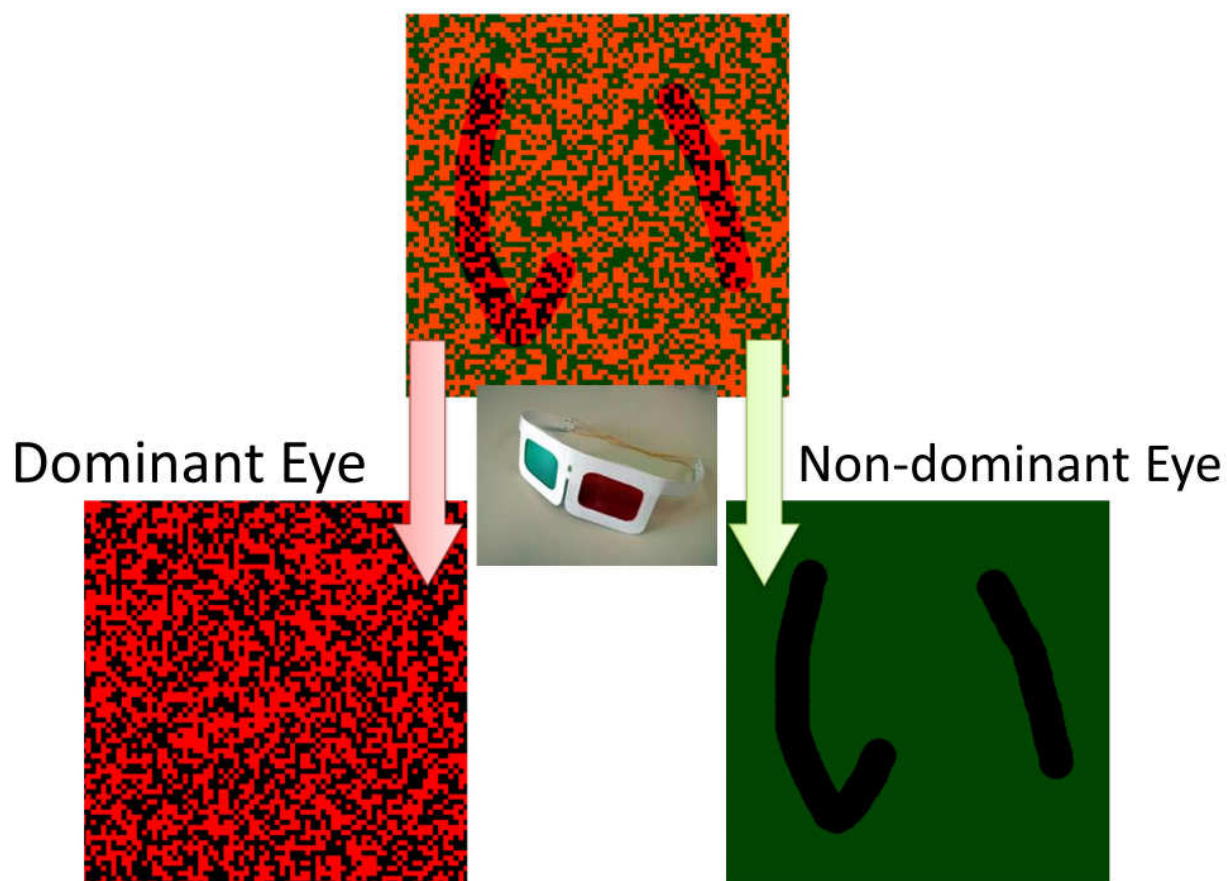
- Colby CL, Duhamel JR, Goldberg ME. Ventral intraparietal area of the macaque: anatomic location and visual response properties. *J Neurophysiol* 69:902–914. 1993
- Conlon. E.G., Sanders M.A. The reading rate and comprehension of adults with impaired reading skills or visual discomfort. *Journal of Research in Reading*, 34 193–214. 2011
- Conlon EG, Lilleskaret G, Wright CM, and Power GF. The influence of contrast on coherent motion processing in dyslexia. *Neuropsychologia* 50(7). 1672-1681, 2012
- Cornelissen P L, Hansen P C, Gilchrist I, Cormack F, Essex J, Frankish C, Coherent motion detection and letter position encoding. *Vision Research* 38 2181-2191, 1998
- Duhamel JR, Colby CL, Goldberg ME. Ventral intraparietal area of the macaque: congruent visual and somatic response properties. *J Neurophysiol* 79:126–136. 1998
- Engbert R, Nuthmann A, Richter EM, and Kliegl R. SWIFT: A Dynamical Model of Saccade Generation During Reading. *Psychological Review* 112(4). 777-813, 2005
- Fang, F., He, S.. Cortical responses to invisible objects in the human dorsal and ventral pathways. *Nature Neuroscience*, 8, 1380-1385, 2005
- Fecteau J.H, Kingstone A, Enns J.T, Hemisphere differences in conscious and unconscious word reading. *Consciousness and Cognition* 13, 550-564, 2004
- Felmingham K.L. Jakobson L.S. Visual and vasomotor performance in dyslexic children. *Exp brain Res* 106: 467-474, 1995
- Foster, K.I., Foster, J.C.. DMDX: a windows display program with millisecond accuracy. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 35 (1) , 116-124, 2003
- Frost, R. Orthographic systems and skilled word recognition processes in reading. In M. J. Snowling & C. Hulmes (Eds.), *The science of reading: A handbook* (pp. 272 – 295). Malden: Blackwell, 2005
- Gallese V, Murata A, Kaseda M, Niki N, Sakata H. Deficit of hand preshaping after muscimol injection in monkey parietal cortex. *Neuroreport* 5: 1525–1529. 1994
- Goodale MA, and Milner AD, Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences* 15(1), 20-25, 1992
- Goodale, M.A.. Transforming vision into action. *Vision Res*, 51(13), 1567-1587, 2011
- Hesselmann G, Hebart M, and Matach R, Differential BOLD activity associated with subjective and objective reports during “blindsight” in normal observers. *J Neurosci* 31(36), 12936-12944, 2011
- Hino Y, Miyamura S, and Jupker SJ, The nature of orthographic – phonological and orthographic – semantic relationships for Japanese kana and kanji words. *Behav Res* 43, 1110-1151, 2011
- Ho, C. S., Chan, D. W., et al. The cognitive profile and multiple-deficit hypothesis in Chinese developmental dyslexia. *Developmental Psychology*, 38, 543–553. 2002
- Horie, S., Yamasaki, T., Okamoto, T., Nakashima, T., Ogata, K., Tobimatsu, S. Differential roles of spatial frequency on reading processes for ideograms and phonograms: a high-density ERP study. *Neurosci. Res.* 72, 68–78. 2012A
- Horie, S., Yamasaki, T., Okamoto, T., Kan, S., Ogata, K., Miyauchi, S., Tobimatsu, S., 2012. Distinct role of spatial frequency in dissociative reading of ideograms and phonograms: An fMRI study. *NeuroImage* 63. 979-988, 2012B

- Iacoboni, M., & Zaidel, E. Hemispheric independence in word recognition: Evidence from unilateral and bilateral presentations. *Brain and Language*, 53, 121–140. 1996
- Inhoff, A. W., Radach, R., Eiter, B. M., & Juhasz, B. Distinct subsystems for the parafoveal processing of spatial and linguistic information during eye fixations in reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 56, 803–827, 2003
- Jung-Beeman, M., & Chiarello, C. Complementary right- and left-hemisphere language comprehension. *Current Directions in Psychological Science*, 7, 2–8, 1998
- Kajii N, Nazir T.A, and Osaka N. Eye movement control in reading unspaced text: the case of the Japanese script. *Vision Research* 41, 2503-2510, 2001
- Kennedy A, Pynte J, and Ducrot S. Parafoveal-on-foveal interactions in word recognition. *Q J Exp Psychol A* 55(4) 1307-1337, 2002
- Kevan A and Pammer, Visual deficits in pre-readers at familial risk for dyslexia. *Vision Res.* 48(28) 2835-2839, 2008
- Kinsey K, Hansen PC, and Chase CH, Dorsal stream associations with orthographic and phonological processing., *Neuroreport* 17(3), 335-339, 2006
- Leff, A. P., Scott, S. K., Crewes, H., Hodgson, T. L., Cowey, A., Howard, D., et al. Impaired reading in patients with right hemianopia. *Annals of Neurology*, 47, 171–178. 2000
- Leff, A.P., Scott, S.K., Rothwell, J.C., & Wise, R.J.S. The planning and guiding of reading saccades: A repetitive transcranial magnetic stimulation study. *Cerebral Cortex*, 11, 918–923. 2001
- Lin and He. Seeing the invisible: The scope and limits of unconscious processing in binocular rivalry, *Progress in Neurobiology* 87, 195-211, 2009
- Li X, Liu P and Rayner K. Eye movement guidance in Chinese reading: is there a preferred viewing location? *Vision Res* 51(10) 1146-1156, 2011
- Mayall, K., Humphreys, G., et al. The effects of case mixing on word recognition: Evidence from a PET study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(6), 844–853. 2001
- McConkie, G. W., & Rayner, K. The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, 17, 578–586, 1975
- McConkie, G. W., & Rayner, K. Asymmetry of the perceptual span in reading. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 8, 365–368, 1976
- McDonald SA, Spitsyna G, Shillcock RC, Wise RJ, and Leff AP. Patients with hemianopic alexia adopt an inefficient eye movement strategy when reading text. *Brain* 129 (Pt1). 158-167. 2006
- Mielliet, S., & Sparrow, L. Phonological codes are assembled before word fixation: Evidence from boundary paradigm in sentence reading. *Brain & Language*, 90, 299–310, 2004
- Milner, A.D., Goodale, M.A.. *THE VISUAL BRAIN IN ACTION*. Oxford: Oxford University Press, 2006
- Milner, A.D., Goodale, M.A.. Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 46, 774-785, 2008
- Milner AD. Is visual processing in the dorsal stream accessible to consciousness? *Proc. R. Soc. B*, 2012
- Nakamura K, Dehaene S, Jobert A, Le Bihan D, Kouider S. Subliminal Convergence of Kanji and Kana Words: Further Evidence for Functional Parcellation of the Posterior Temporal Cortex in

- Visual Word Perception. *J Cogn Neurosci* 17(6). 954-968, 2005
- Pammer, K., & Vidyasagar, T. R. Integration of the visual and auditory networks in dyslexia: A theoretical perspective. *Journal of Research in Reading*, 28, 320–331, 2005
- Pammer, K., Hansen, P., et al. Attention shifting and the role of the dorsal pathway in visual word recognition. *Neuropsychologia*, 44(14), 2926–2936. 2006
- Pammer K, Kevan A, The contribution of visual sensitivity, phonological processing, and nonverbal IQ to children's reading. *Scientific Studies of Reading* 11 33-53, 2007
- Pammer K, Connell E, and Kevan A .Spelling and reading: Using visual sensitivity to explore shared or separate orthographic representations. *Perception* 39 387-406, 2010
- Perea M, Nakatani C, and Leeuwen CV. Transposition effects in reading Japanese Kana: Are they orthographic in nature? *Mem Cogn* 39, 700-707, 2011
- Poppelreuter, W. Disturbances of lower and higher visual capacities caused by occipital damage (J.Zihl&L.Weiskrantz,Trans.).Oxford,UK:Clarendon Press. 1917/1990
- Rayner, K. The perceptual span and peripheral cues in reading. *Cognitive Psychology*, 7, 65–81, 1975
- Rayner, K., & Bertera, J. H. Reading without a fovea. *Science*, 206, 468–469, 1979
- Rayner K, Balota DA, Pollatsek A. Against parafoveal semantic preprocessing during eye fixations in reading. *Canadian Journal of Psychology* 40:473–483. 1986
- Rayner,K.,& Pollatsek, A. The psychology of reading. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hal, 1989
- Rayner, K., & Morris, R. K. Eye movement control in reading: Evidence against semantic preprocessing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 163–172. 1992
- Rayner, K. Eye movements in reading: Recent developments. *Current Direction in Psychological Science* 2, 81-85, 1993
- Rayner, K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124, 372–422, 1998
- Rayner, K., Reichle, E. D., & Pollatsek, A. Eye movement control in reading and the E-Z Reader model. In G. Underwood (Ed.), *Cognitive processes in eye guidance*. Oxford: Oxford University Press, 2005
- Ryaner K, Li X, and Pollatsek A. Extending the e-z reader model of eyemovement control to Chinese readers. *Cogn sci* 31(6), 1021-33, 2007
- Rayner, K. The thirty-fifth Sir Frederick Bartlett lecture: Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62, 1457–1506. 2009A
- Rayner K. Eye Movements in Reading: Models and Data. *J Eye Mov Res* 2(5). 1-10. 2009B
- Rizzolatti, G., Matelli, M.. Two different streams form the dorsal visual system: anatomy and functions. *Exp Brain Res*, 153, 146-157, 2003.
- Romero MC, Van Dromme IC, Janssen P. The role of binocular disparity in stereoscopic images of objects in the macaque anterior intraparietal area. *PLoS One* 8(2) e55340. 2013
- Sainio M, Hyona J, Bingushi K, and Bertram R. The role of interword spacing in reading Japanese:

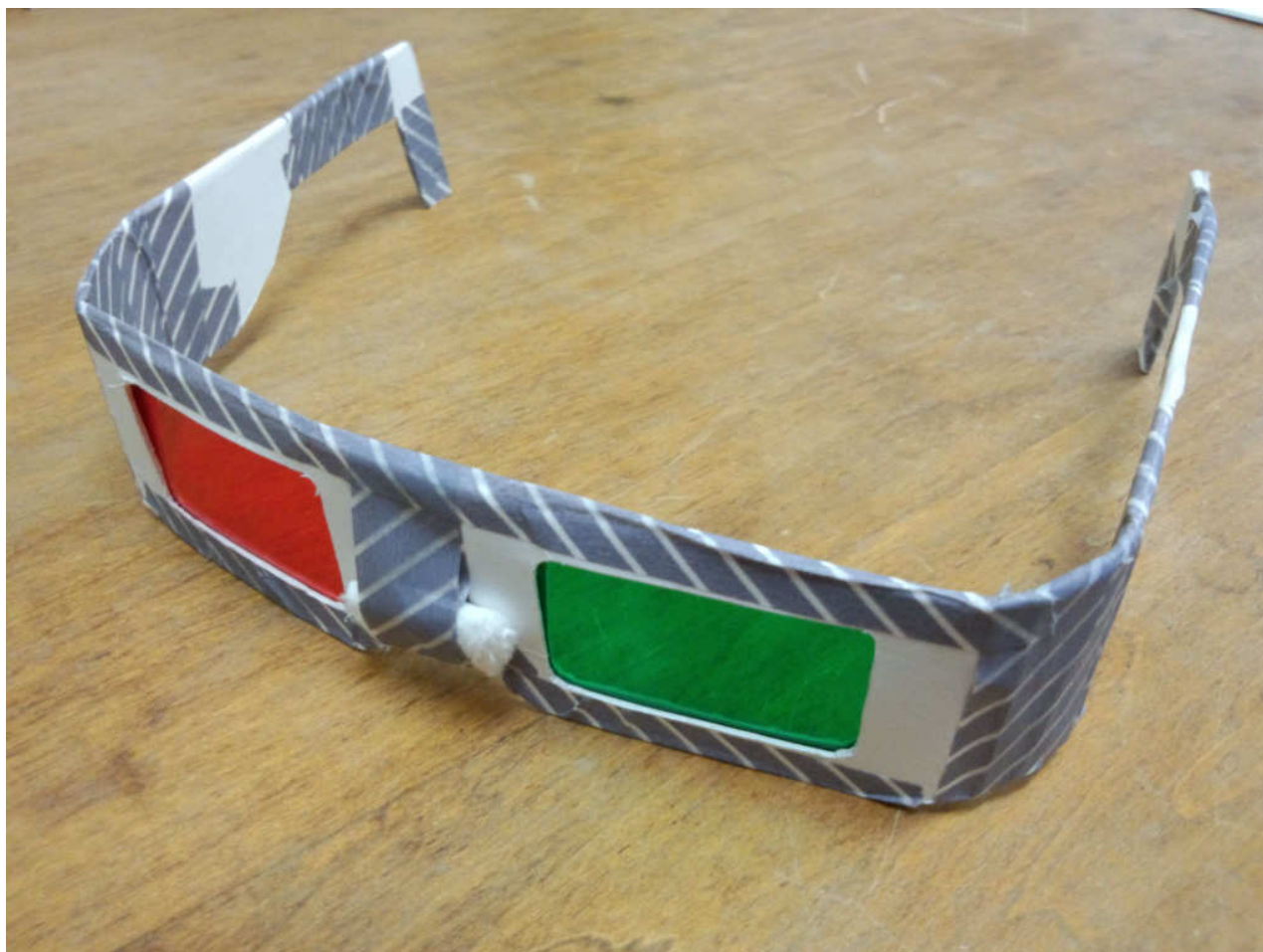
- an eye movement study. *Vision Res* 47(20), 2575-2584, 2007
- Sakuraba S et al., Does the Human Dorsal Stream Really Process a Category for Tools? *The Journal of Neuroscience* 32(11): 3949-3953, 2012
- Sakata, H.. The role of the parietal cortex in grasping. *Adv neurol*, 93, 121-139, 2003
- Sakuraba S et al., Alpha-band Rhythm Modulation under the Condition of Subliminal Face Presentation: MEG Study, *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 35th Annual International Conference of the IEEE*, 6909-6912, 2013
- Sakurai, Y., Terao, Y., Ichikawa, Y., Ohtsu, H., Momose, T., Tsuji, S., Mannen, T. Pure alexia for kana. Characterization of alexia with lesions of the inferior occipital cortex. *J. Neurol. Sci.* 268, 48–59, 2008
- Schlack A, Hoffmann KP, Bremmer F. Interaction of linear vestibular and visual stimulation in the macaque ventral intraparietal area (VIP) *Eur J Neurosci* 16:1877–1886. 2002
- Schlack A, Hoffmann KP, Bremmer F. Selectivity of macaque ventral intraparietal area (area VIP) for smooth pursuit eye movements. *J Physiol* 551:551–561. 2003
- Schuett S, Heywood CA, Kentridge RW, Zihl J. The significance of visual information processing in reading: Insights from hemianopic dyslexia. *Neuropsychologia* 46, 2445-2462, 2008
- Sereno, A.B., Maunsell, J.H.. Shape selectivity in primate lateral intraparietal cortex. *Nature*. 395 (6701) , 500-503, 1998
- Shaywitz S.E., Shaywitz B.A., Fulbright R.K., Skudlarski P., Mencl W.E., Constable T et al. Neural systems for compensation and persistence: Young adult outcome of childhood reading disability. *Biological Psychiatry*, 54, pp. 25–33. 2003
- Subramanian J and Colby CL. Shape Selectivity and Remapping in Dorsal Stream Visual Area LIP. *J Neurophysiol.* in press(2013)
- Sun Y, Yang Y, Desroches AS. Liu L. and Peng D. The role of the ventral and dorsal pathways in reading Chinese characters and English words. *Brain Lang* 119(2), 80-88, 2011
- Talcott J, Hansen P, Assoku E, Stein J. Visual motion sensitivity in dyslexia: evidence for temporal and energy integration deficits. *Neuropsychologia* 38 935-943, 2000
- Thuy DH, Matsuo K, Nakamura K, Toma K, Oga T, Nakai T, Shibasaki H, and Hukuyama H, Implicit and explicit processing of kanji and kana words and non-words studied with fMRI, *Neuroimage* 23(3), 878-879, 2004
- Tsuchiya, N., Koch, C.. Continuous flash suppression reduces negative afterimages. *Nature Neuroscience*, 8, 1096-1101, 2005
- Tsutsui, K., Jiang, M., Sakata, H., Taira, M.. Short-term memory and perceptual decision for three-dimensional visual features in the caudal intraparietal sulcus (Area CIP) . *The Journal of Neuroscience*, 23, 5486-5495, 2003
- Ungerleider, L G., and Mishkin, M. in *Analysis of Visual Behaviour* (Ingle, D. M., Goodale, M. A. and Mansfield, R. J. W., eds), MIT Press, 549-586, 1982
- Van den Bussche E, Van den Noortgate W, Reynvoet B. Mechanisms of masked priming: A meta-analysis. *Psychol Bull* 135: 452–477, 2009
- Vidyasagar, T. R. A neuronal model of attentional spotlight: Parietal guiding the temporal. *Brain*

- Research and Reviews, 30, 66–76, 1999
- Vingerhoets, G., Acke, F., Vandemaele, P., Achten, F.. Tool responsive regions in the posterior parietal cortex: Effect of differences in motor goal and target object during imagined transitive movements. *NeuroImage*, 47, 1832-1843, 2009
- Wydell, T. N., Butterworth, B., & Patterson, K. The inconsistency of consistency effects in reading: The case of Japanese Kanji. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 21, 1155 – 1168. 1995
- Yang E, Blake R. Deconstructing continuous flash suppression. *Journal of Vision* 12(3) 1-14, 2012
- Zabelina DL, Guzman-Marinez E, Ortega L, Grabowecky M, Suzuki S, Beeman M, Suppressed semantic information accelerates analytic problem solving *Psychon Bull Rev* 20(3), 581-585, 2013
- Zihl J, Hebel N. Patterns of oculomotor scanning in patients with unilateral posterior parietal or frontal lobe damage. *Neuropsychologia* 35(6). 893-906, 1997
- Zihl J. Eye movement patterns in hemianopic dyslexia. *Brain* 118 (Pt4). 891-912. 1995



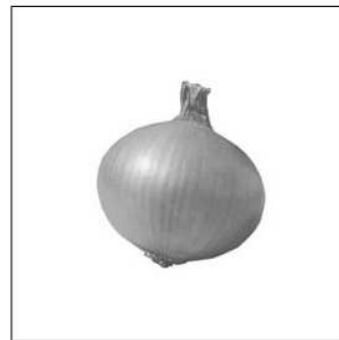
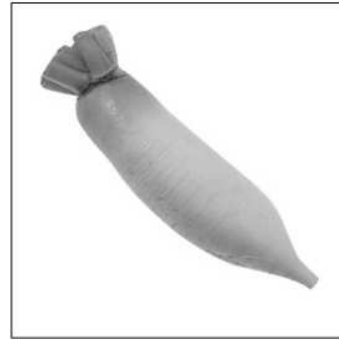
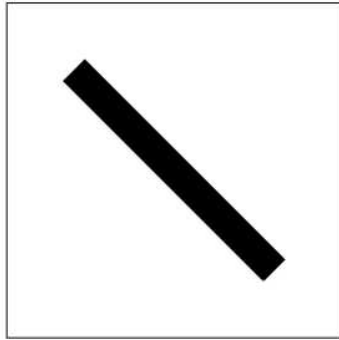
▲図1 Continuous Flash Suppression における提示画像の例

赤黒ランダムドットノイズと、赤と青をカットし緑の要素だけを残した静止画像を画像編集ソフトウェアにより重ね合わせる（上）。被験者はアナグリフにより利き目（Dominant Eye）にはランダムドットノイズ、非利き目（Non-dominant Eye）には静止画像のひらがなや漢字しか提示されないようにする。非利き目に提示する画像のコントラストは各被験者で個別に設定を行う。



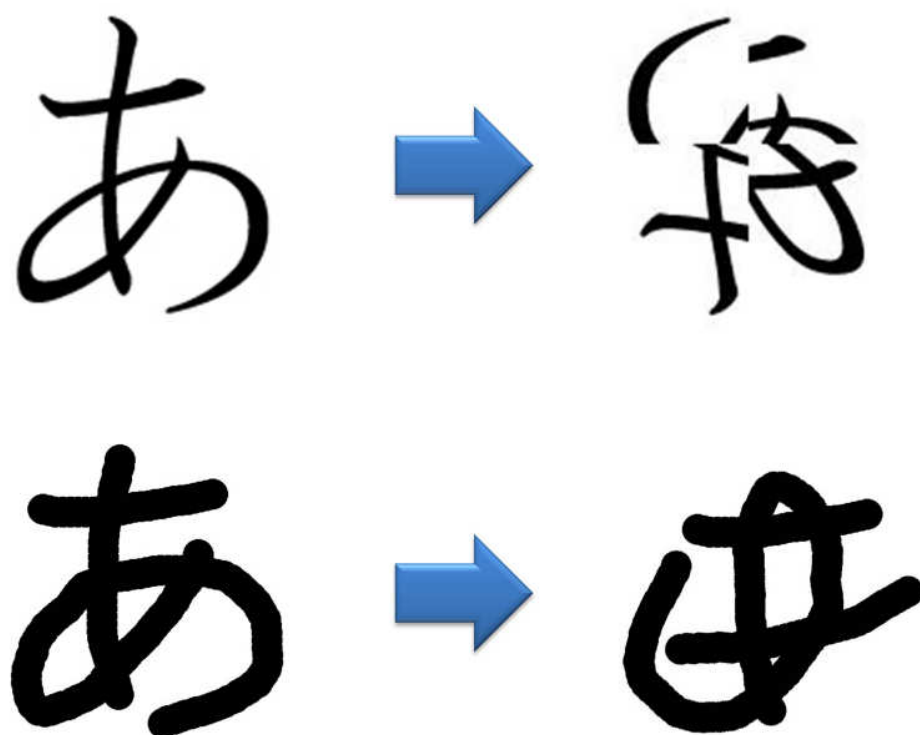
▲図2 実験で使したアナグリフ

Almeida ら（2008）に倣い、赤緑アナグリフを作成し使用した。被験者によって利き眼が異なるため、左右に取り付けた赤と緑のフィルタは互いに入替が可能のようにしてある。また、眼鏡使用の被験者のために眼鏡の上からでもかけられるよう、ツルの長いアナグリフも作成した。写真は眼鏡をかけていない被験者用のアナグリフである。赤いフィルタを利き眼に設定し、緑のフィルタを非利き目に設定する。



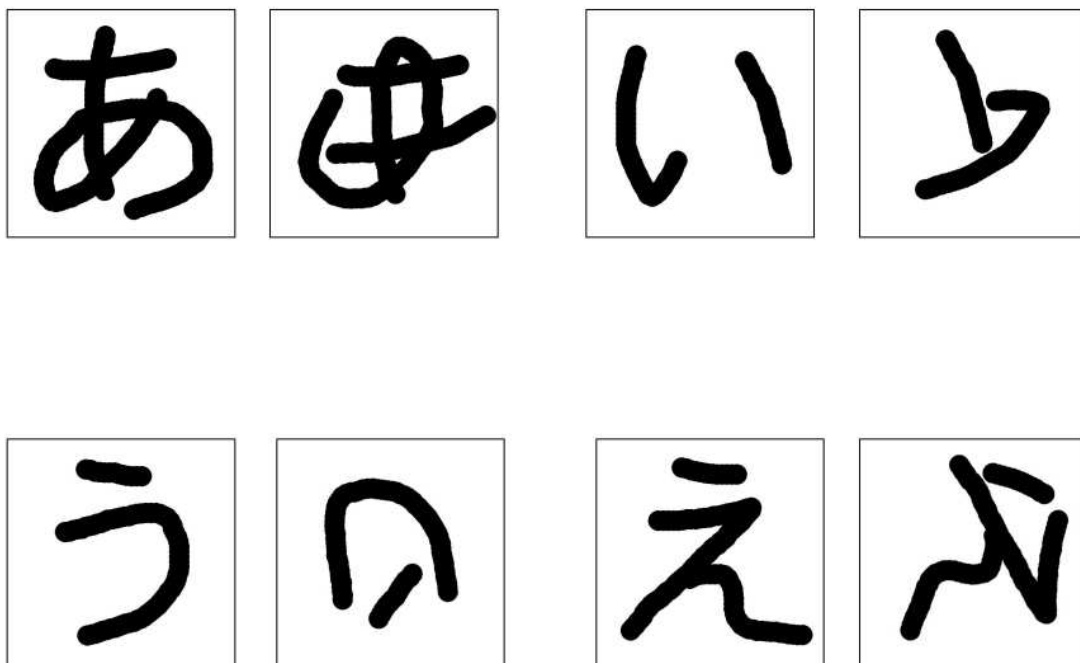
▲図3 先行研究 (Sakuraba et al., 2012) で用いた画像

道具の代わりに用いる細長い形状の画像としてエフロン図形を用いた（左上）。その対比には動物（左下）の画像を用いた。また、野菜に関しては細長い野菜として大根（右上）などを、丸形の野菜として玉ねぎ（右下）などを用意し、各々左下の動物の画像群とプライミング効果を比較検討した。本文中の記載にあるとおり、細長い図形であったり細長い野菜におけるプライミング効果が有意に高かった。



▲図4 文字スクランブルの手法による視覚的複雑性の変化

上方は文字を画像として見立て、その画像をシャッフルすることで得られるスクランブル画像である。元の正字と比べると「かく」が断片化されるなどして視覚的複雑性が変化してしまっている。一方、下方は今回我々が用いた手法であり、「かく」毎に回転、移動することで、視覚的複雑性を正字と大きな変化が無いようにしている。



▲図5 本研究で用いたひらがなの画像

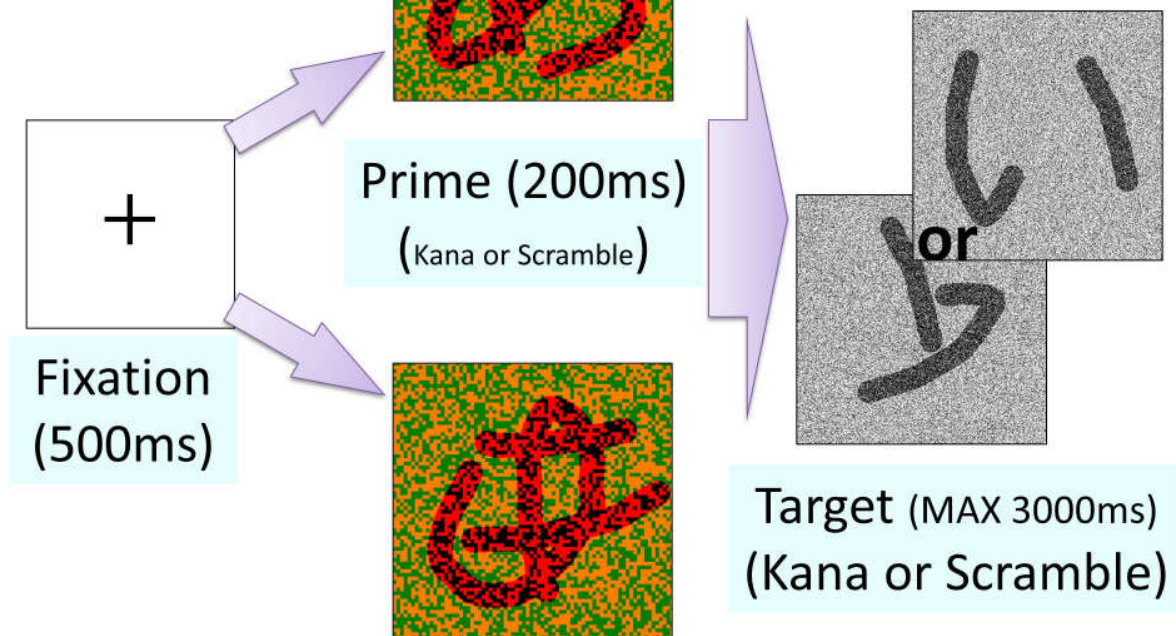
各画像ペアのうち、左側が正字ひらがなであり右側がその「かく」を回転・移動したスクランブル画像である。スクランブル画像では正字的要素が崩れているが、「かく」の位置のみを変更しているため、視覚的複雑性が保たれていると考えられる。



▲図6 本研究の実験1で用いた漢字の画像

各画像ペアのうち、左側が正字漢字であり右側がその「かく」を回転・移動したスクランブル画像である。ひらがな同様にスクランブル画像では正字的要素が崩れているが、「かく」の位置のみを変更しているため、視覚的複雑性が保たれていると考えられる。ひらがなと音韻要素をあわせるようにしているため、画数の多さを考慮しなかった。

Experiment 1 (Kana Trial)



▲図7 実験1の画像提示の流れ

最初に 500ms のフィクセーションが提示され、その後 200ms の間 CFS によりマスキングされたプライム画像が提示される。プライム画像は正字かスクランブルのどちらかが同程度の確率でランダムに提示される。その後ターゲット刺激が提示され、被験者は正字かスクランブルか判断する。なお、図はひらがなに関するトライアルだが、漢字についても同様のトライアルを別に実施している。

ひらがな			漢字		
	A	B		A	B
	C	D		C	D

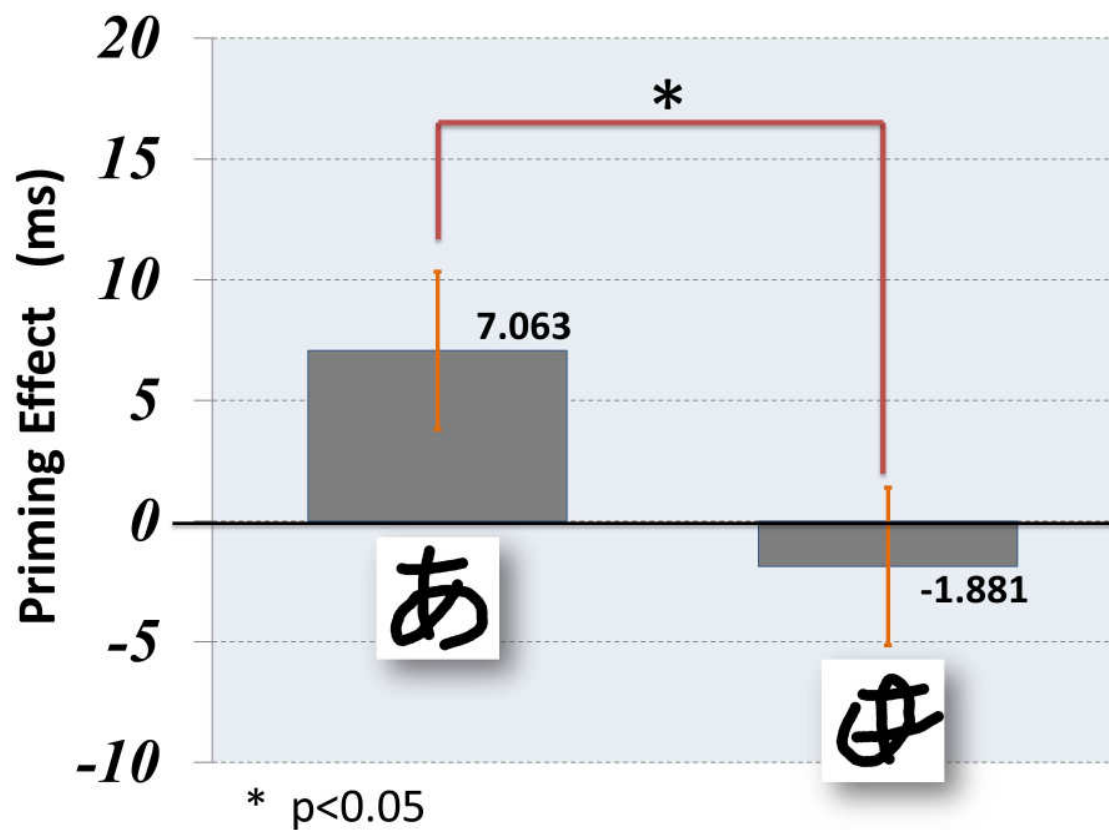
ひらがな/漢字priming effect **B-A**

スクランブルpriming effect **C-D**

(Incongruent Trial – Congruent Trial)

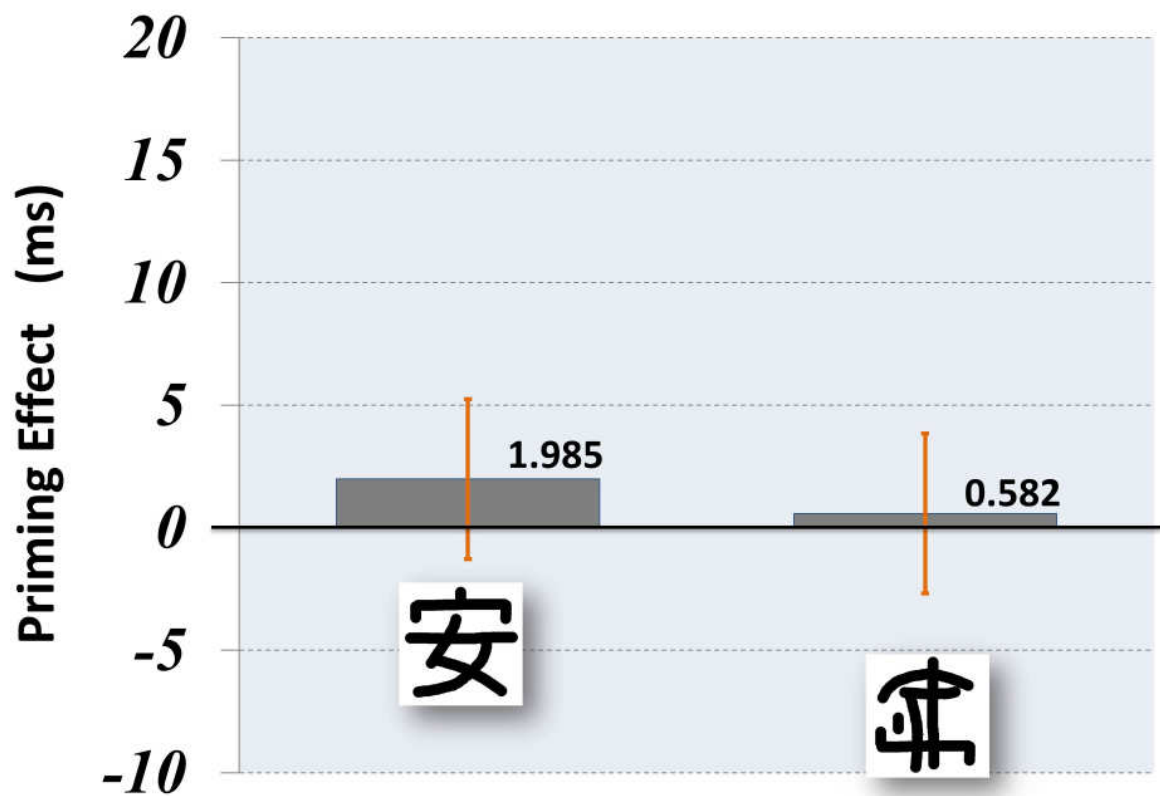
▲図8 プライミング効果の算出方法

プライミング効果は各ターゲットの種類毎に算出される。各表上方がプライム刺激であり、右側がターゲット刺激になる。その算出法はプライム刺激とターゲット刺激が異なるトライアルの平均反応時間から、両刺激が同一のトライアルの平均反応時間を減算することで得られる。ただし、図のように同一トライアル内でプライム刺激とターゲット刺激に同一の文字が提示されることはない。



▲図9 実験1のひらがなの結果

ひらがなに関して、有意な正字プライミング効果を得られた。縦軸はプライミング効果を示している。エラーバーは標準誤差を示している。正字ひらがなターゲットへの平均プライミング効果は 7.062ms (SEM=2.622)であり、スクランブルひらがなターゲットへの平均プライミング効果は-1.881ms (SEM=1.986)であった。これらの結果に対し paired T 検定にて統計解析を行ったところ、 $t(19) = 2.741$, $p < 0.05$ であった。



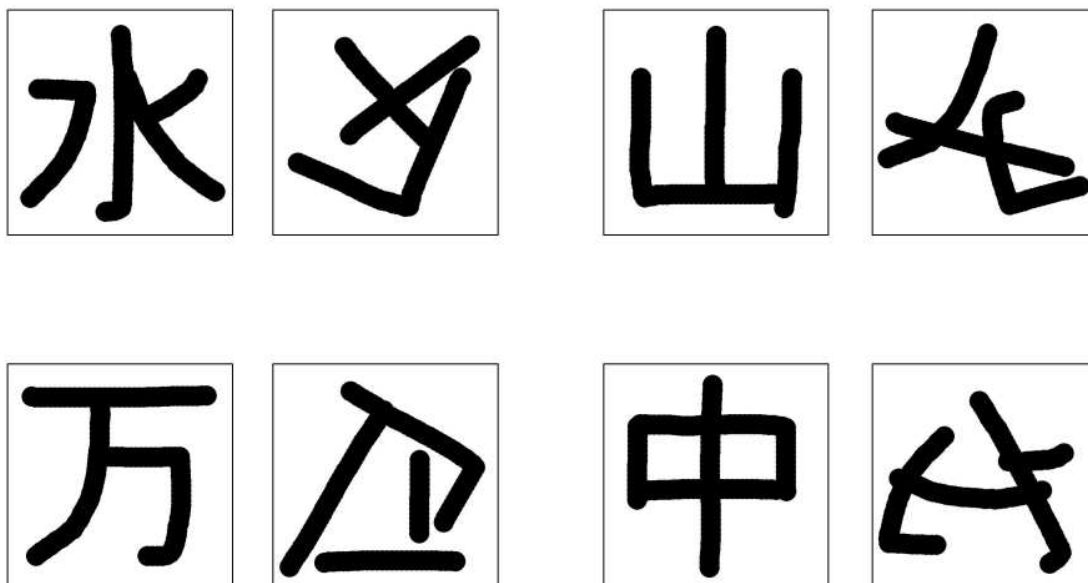
▲図 10 実験 1 の漢字の結果

漢字に関しては、ひらがなとは違い有意な正字プライミング効果が得られなかった。ひらがな同様に縦軸はプライミング効果を示している。エラーバーは標準誤差を示している。正字漢字ターゲットへの平均プライミング効果は 1.985ms (SEM=2.322)であり、スクランブル漢字ターゲットへの平均プライミング効果は.582ms (SEM=2.666)であった。これらの結果に対し paired T 検定にて統計解析を行ったところ、 $t(19)=.380$, $p=.708$ (ns)であった。

	Exp.1	Exp.2	Exp.3
n	20	20	20
Mean, %	50.65	51.10	50.70
SD	3.08	3.14	3.06
SEM	0.69	0.70	0.68
Mazimum score	58	60	58
Minimum score	45	48	46

▲表1 実験1～3の確認課題の成績

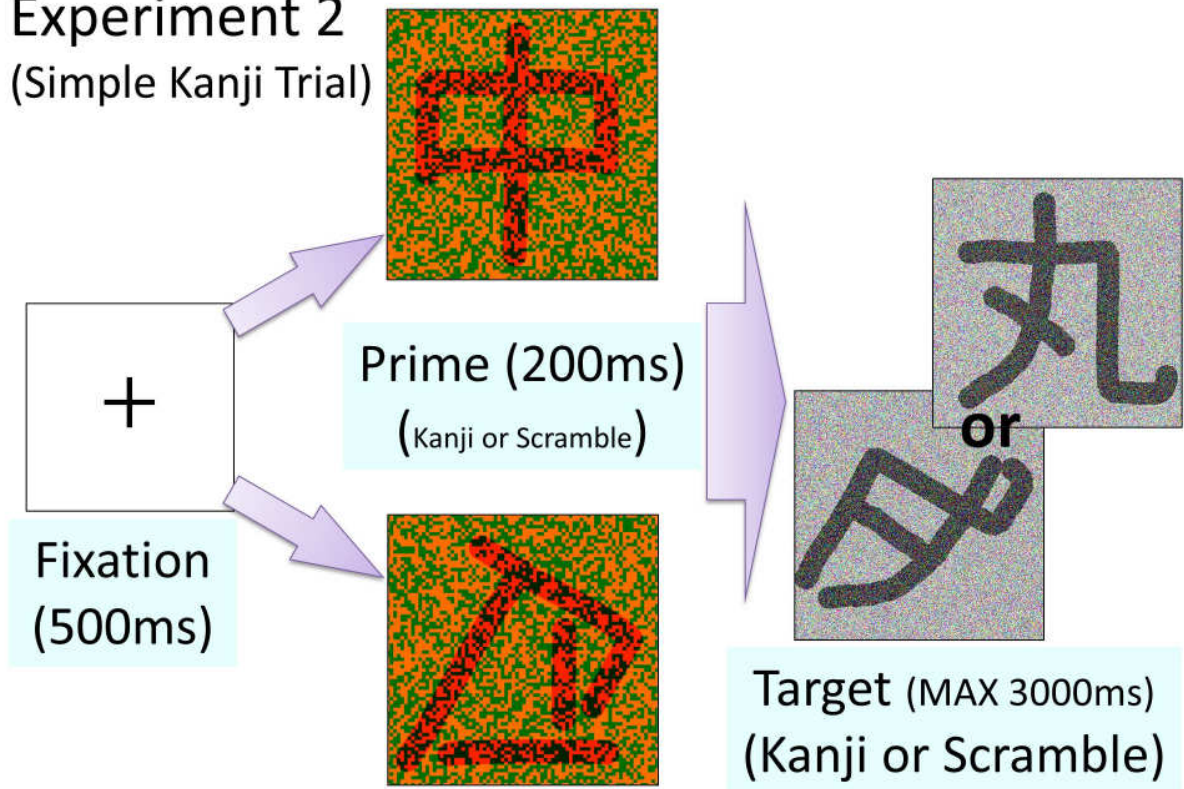
各実験における確認実験の結果。被験者がプライム刺激を本当に認識していないかどうかを確かめるために行う。プライム刺激入りのノイズ画像と単なるノイズ画像を提示し、被験者はノイズ以外に何か見えたかどうか訊ねる。よって、上に示す平均エラーレート（ER）が50パーセントに近づけば被験者はプライム画像の内容を認識していない可能性が高い。SDは標準偏差、SEMは標準誤差を各々示す。



▲図 1 1 実験 2 で用いた漢字の画像

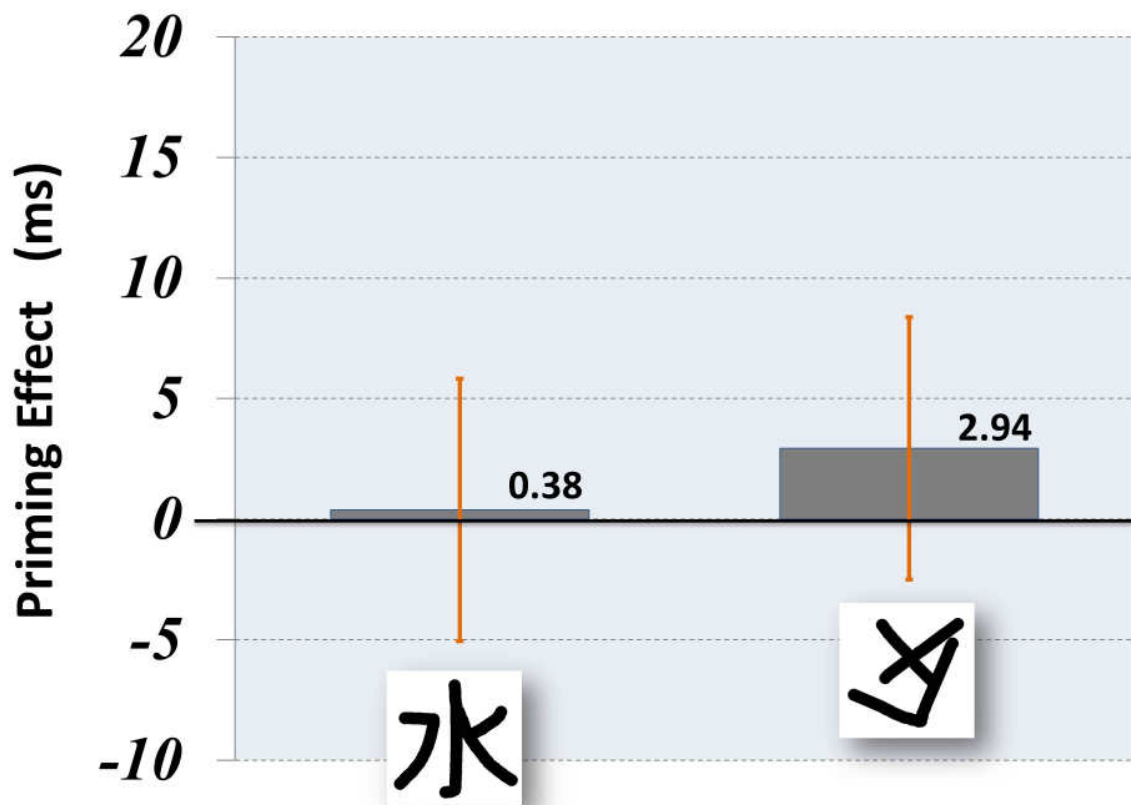
各画像ペアのうち、左側が正字漢字であり右側がその「かく」を回転・移動したスクランブル画像である。実験 1 の漢字と異なり、ひらがなの画数である 1 ～ 4 画以内の漢字を選択している。ただし、ひらがなの音韻的要素の統制は行われていない。

Experiment 2 (Simple Kanji Trial)



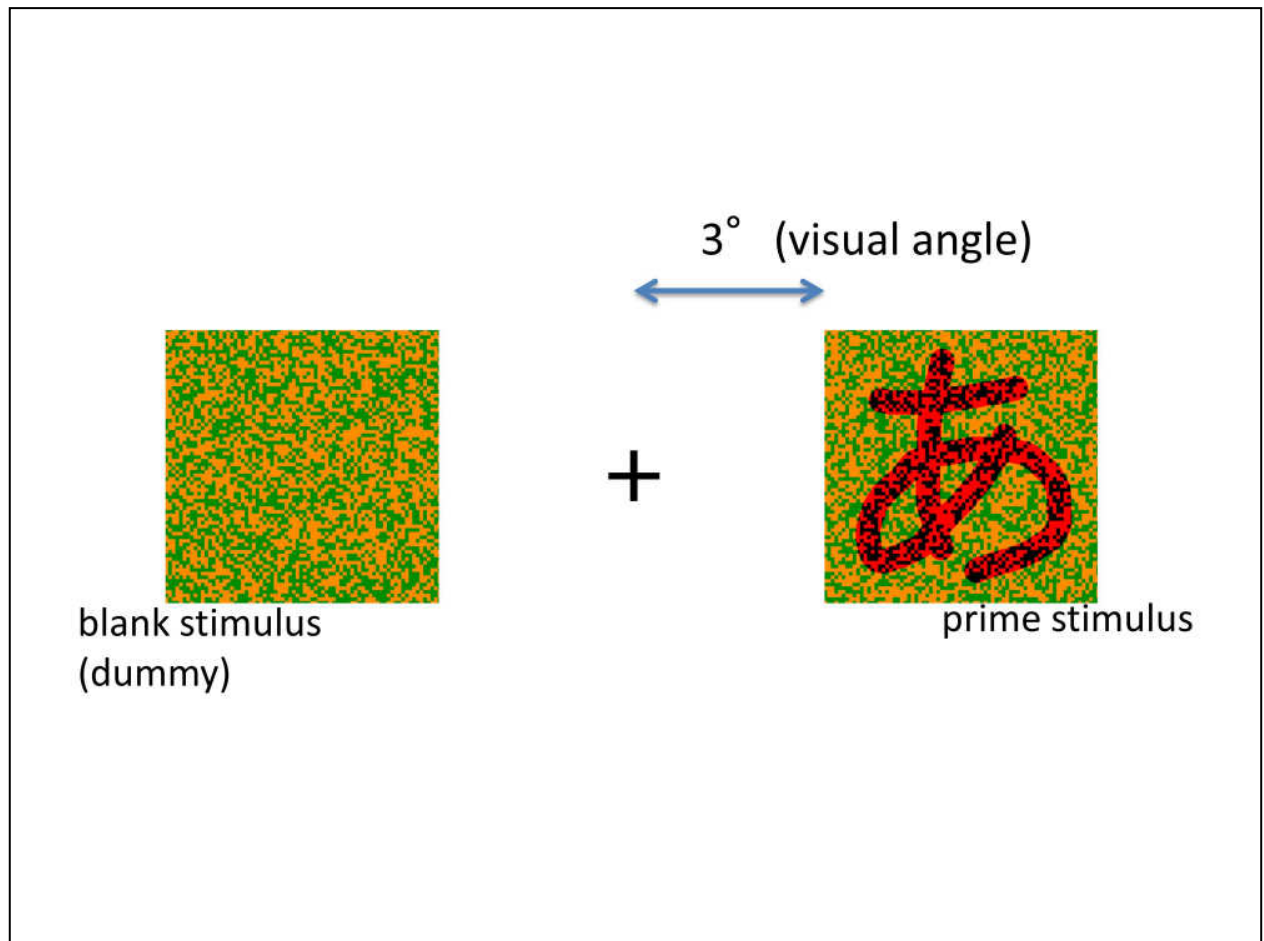
▲図 1 2 実験 2 の画像提示の流れ

実験 1 と同様であるが、使用される画像は画数 1 ～ 4 画の漢字である。最初に 500ms のフィクセーションが提示され、その後 200ms の間 CFS によりマスキングされたプライム画像が提示される。プライム画像は正字かスクランブルのどちらかが同程度の確率でランダムに提示される。その後ターゲット刺激が提示され、被験者は正字かスクランブルか判断する。



▲図13 実験2の結果

実験1の漢字と同様、有意な正字プライミング効果は得られなかった。縦軸はプライミング効果を示している。エラーバーは標準誤差を示している。正字ターゲットへの平均プライミング効果は.38ms (SEM=3.90)であり、スクランブルターゲットへの平均プライミング効果は2.94ms (SEM=3.91)であった。paired T検定において、 $t(19) = -.469$ となり、 $p=.644$ (ns)であった。

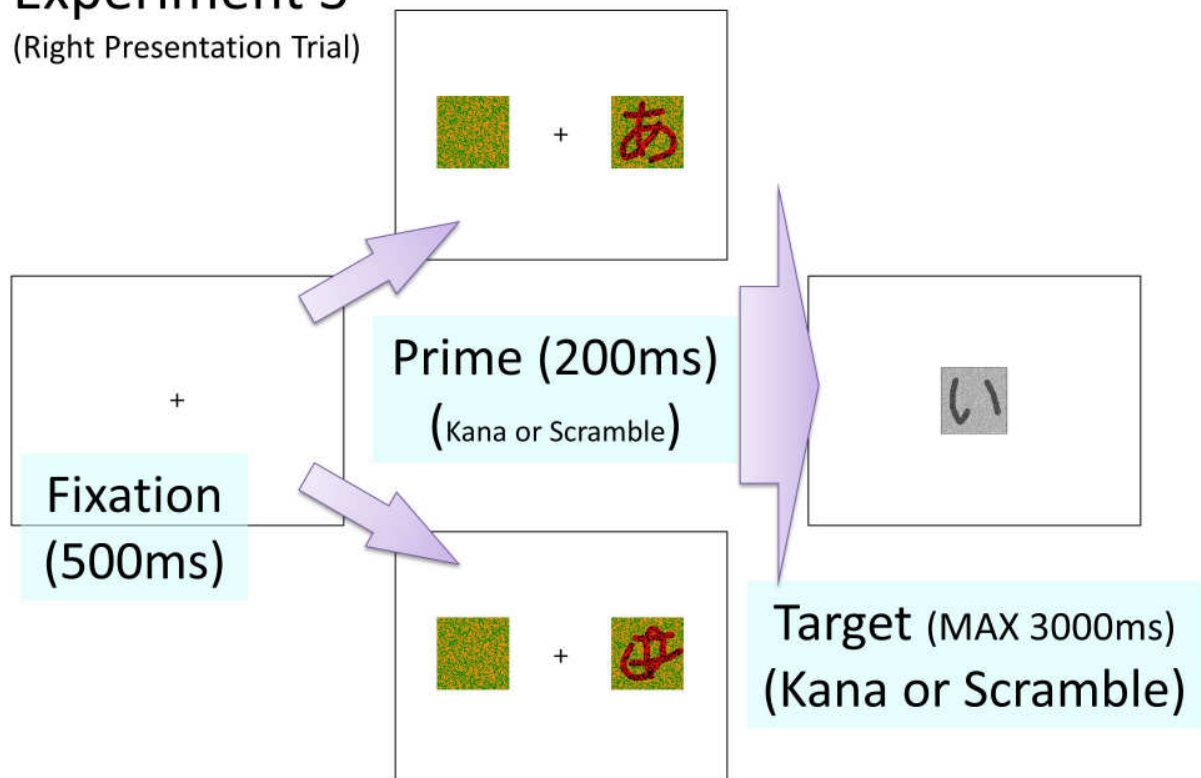


▲図 1 4 実験 3 におけるプライム刺激の提示例

図は右視野にひらがなの正字プライム刺激を提示したときの例（イメージ）である。画面中央に近い側面（右視野提示であれば画像の左端）がフィクセーションから 3° の視角になるように画像を移動させている。また、実際に刺激を提示する方向とは反対の場所には CFS によりマスキングしたプライム刺激をダミー刺激として提示する。双方の刺激は 200ms 提示され、その間ランダムノイズの内容が 1 回変わる（10Hz）。

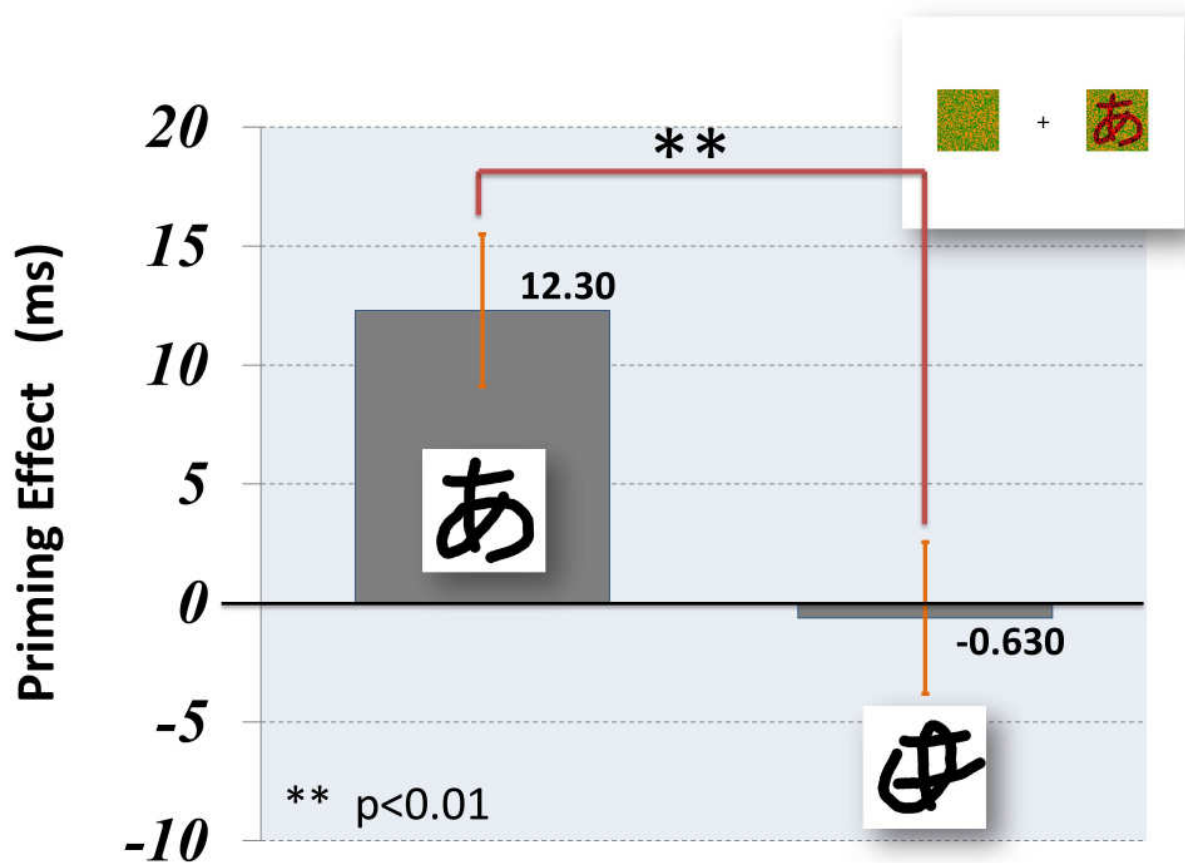
Experiment 3

(Right Presentation Trial)



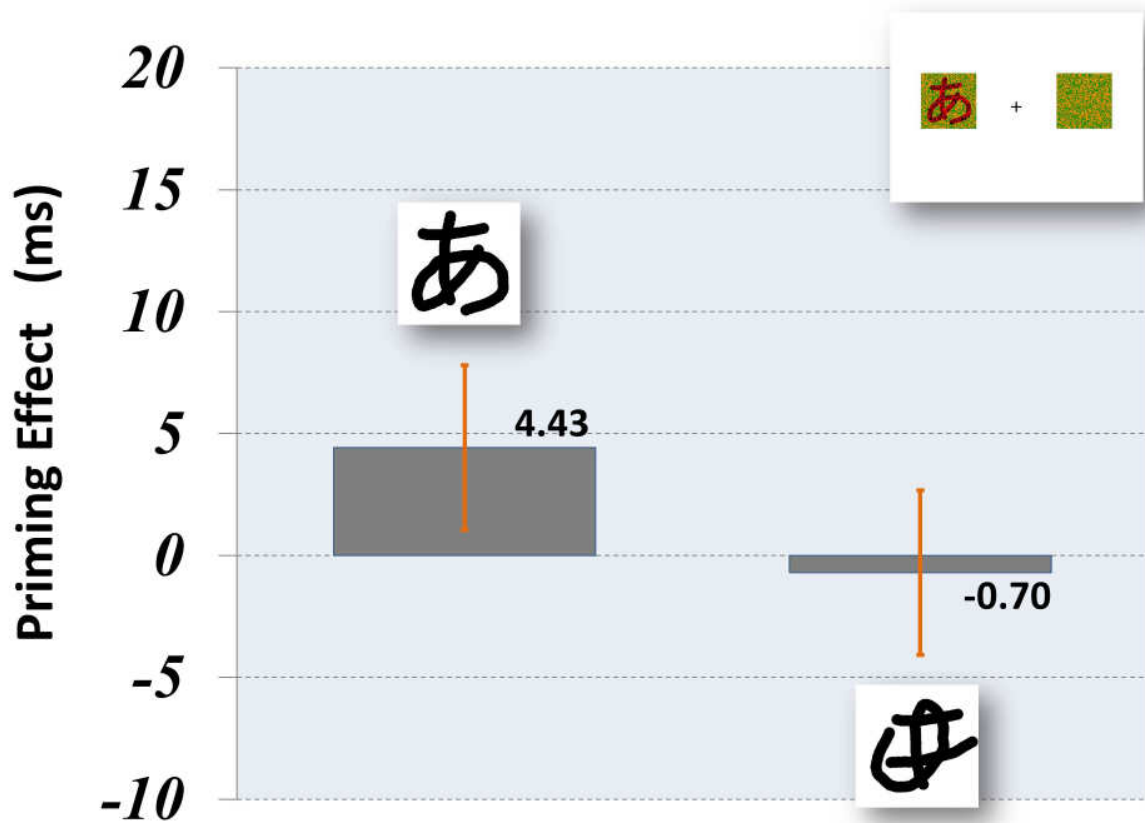
▲図 1 5 実験 3 の画像提示の流れ

右視野に提示した時の例を挙げる。最初に 500ms のフィクセーションが提示され、その後 200ms の間、フィクセーションから 3° 左右のどちらかに移動した方向に CFS によりマスキングされたプライム刺激が提示される。どちらに提示されるかはセッション毎に一定であるが、被験者は左右のどちらにプライム刺激が提示されたかは知覚できない。反対方向にはダミーとしてブランクの画像に CFS によるマスキングをかけた画像を提示した。プライム画像は正字かスクランブルのどちらかが同程度の確率でランダムに提示される。その後、画面の中央にターゲット刺激が提示され、被験者は正字かスクランブルか判断する。この間、被験者の視線移動はアイトラッカーにより追跡しており、プライム画像提示時に視線移動が見られたトライアルは解析から除外する。



▲図16 実験3の右視野プライム刺激提示時の結果

右視野にプライム刺激を提示した場合、正字ひらがなの有意なプライミング効果が得られた。縦軸はプライミング効果を示している。エラーバーは標準誤差を示している。正字ひらがなターゲットへの平均プライミング効果は 12.30ms (SEM=4.98)であり、スクランブルひらがなターゲットへの平均プライミング効果は-.63ms (SEM=2.61)となった。これらに関して paired T 検定を行ったところ、 $t(19)=4.050$, $p<0.01$ であった。



▲図 1 7 実験 3 の左視野プライム刺激提示時の結果

左視野にプライム刺激を提示した場合。有意なプライミング効果は得られなかった。縦軸はプライミング効果を示している。エラーバーは標準誤差を示している。正字ひらがなターゲットへの平均プライミング効果は 4.43ms (SEM=3.55)であり、スクランブルひらがなターゲットへの平均プライミング効果は-0.70ms (SEM=3.02)となった。これらに関して paired T 検定を行ったところ、 $t(19)=1.517$, $p=0.146$ (ns)であった。