

Title	眼球運動を用いた読解プロセスのメカニズムに関する考察
Author(s)	周, 迪
Citation	
Issue Date	2018-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/15179
Rights	
Description	Supervisor: 党 建武, 先端科学技術研究科, 修士 (情報科学)

修 士 論 文

眼球運動を用いた
読解プロセスのメカニズムに関する考察

北陸先端科学技術大学院大学
先端科学技術研究科先端科学技術専攻

周 迪

2018 年 3 月

修 士 論 文

眼球運動を用いた 読解プロセスのメカニズムに関する考察

指導教員 党 建武 教授

審査委員主査 党 建武 教授

審査委員 赤木 正人 教授

審査委員 鵜木 祐史 教授

北陸先端科学技術大学院大学
先端科学技術研究科先端科学技術専攻

1610091 周 迪

提出年月: 2018 年 2 月

概 要

眼球運動を用いて読解プロセスのメカニズムを究明するための一つ重要な問題は注視している単語 N における処理時間が次の単語 $N + 1$ の語彙情報に影響されるかどうかである。この問題の本質は読解が top-down プロセスか、それとも bottom-up プロセスかということである。先行研究で単語 $N + 1$ の出現頻度をコントロールすることよりこの問題を考察したが、いくつかの矛盾な結果を得た。従って、本研究は単語 $N + 1$ の形態情報と音韻情報をコントロールすることよりこの問題を再考察した。実験の結果は、単語 $N + 1$ の形態情報と音韻情報のミスによって単語 $N + 1$ の処理時間が長くなるが、単語 $N + 1$ の前の単語と後ろの単語における処理時間がほとんど変わらないことを明らかにした。そのゆえ、読解の初期段階で各単語の認知はほぼ相互影響しない、ほとんど独立している。すなわち、初期段階の読解は bottom-up プロセスであることが分かった。後期では各単語が互いに影響し始めるため、top-down プロセスになる。また、漢字は形態情報、音韻情報及び語彙情報の三位一体の言語であるため、漢字単語の認知処理する場合は形態情報を依存するかそれとも音韻情報を依存するかをまだ判明されていない。実験の結果により、多くの人間に対して形態情報より音韻情報は文の理解に重要な役割を果たしていることが示めされた。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景と問題点	1
1.2	研究目的	3
1.3	論文の構成	3
第2章	実験システムの構成	4
2.1	実験の装置	4
2.2	システムの設計と実行手順	5
第3章	出現頻度により単語認知の差異性	7
3.1	実験の設計	7
3.2	被験者	8
3.3	実験の手順	8
3.4	実験の結果	8
第4章	PoF 効果の考察に関する研究	10
4.1	実験の設計	10
4.2	被験者	11
4.3	実験の手順	11
4.4	眼球運動のパラメータ	12
4.5	データの前処理	15
4.6	実験の結果	15
4.7	結論	22
第5章	追加分析	23
5.1	読解は漢字の形態・音韻情報への依存性	23
5.2	読み返す回数の考察	23
5.3	読み時間の考察	24
5.4	結論	26
第6章	まとめと今後の課題	27
6.1	まとめ	27
6.2	今後の課題	29

第1章 はじめに

1.1 研究背景と問題点

文章読解とは、視覚的に呈示されている言語を理解する過程である。この過程には人間の注意力、モーター制御、及び長期記憶の共同作業が必要である。読解は視覚情報と言語処理の二つの方面から人間の認知処理を考察できるので、数多くの研究者がこの領域に注目する。人間の読解能力は多くのプロセスと関係があり、それらのプロセスで、情報は bottom-up と top-down の二つのプロセスに分かれる。この二つのプロセスが同時に起こり、読みの段階により相互に作用する [1]。昔の読解理論で、読解は主に top-down プロセスを使い、読み手はただ次の単語がなにかの推測をするだけである。上手に推測すれば、より早めに文章の全体を理解できる。そのかわりに、bottom-up は読解プロセスとほとんど関連していない [2]。しかし、Keith Rayner ら [3] がこの観点を大幅に覆した。彼らは「読解が実は文章内のすべての単語を見た上で、迅速かつ効率的に視覚情報を抽出する能力」ということを証明した。つまり、読解中に bottom-up プロセスが主導的な役割を担う。読解の本質は印刷されたページから情報を抽出することである。

それを契機に、Keith Rayner らは現代の読解理論を提出した。それは人間の注意力と眼球運動は語彙の加工過程によってコントロールされる。三者の間に密接なつながりがある。語彙加工の難易度が単語の注視時間の長さに反映される。Keith Rayner らの考えは一つの単語の語彙加工が終わったら、次の単語に視線を向け、新しい注視が始める。語彙加工の難易度は単語に対しての出現頻度、単語の長さ、そして文脈での予測性に影響されている [4]。この基本的な理論に基づいて、現在の眼球運動制御モデルが開発された。

眼球運動制御モデルでは、単語の出現頻度と文脈での予測性を入力すると、この単語での注視時間やサーケット距離の予測値を出力することができる。現在の眼球運動制御モデルは二つの種類に分けられている。一つは直列処理モデル (serial-attention) であり、もう一つは並列処理モデル (processing-gradient) である。この二つのモデルは語彙の加工は眼球運動をコントロールすることに関する観点が一致するが、注意力の分配に関して異なる観点を持つことになった。E-Z Reader を代表としての直列処理モデルでは、読解プロセスに読み手は最も視力が集中している中心窩 (foveal) で注視している単語の語彙アクセスを行ってから次の単語に注意力に移し、単語を一つずつ直列的に処理していくと考えられている [5]。つまり、注意力は同じタイミングで一つの単語しか分配できない。一つの単語の処理が終わらないであれば、次の単語を処理できない。このような直列処理の観点では、注視している単語における注視時間は、次の単語の語彙情報に影響されないと考え

られている。一方、SWIFTをはじめとする並列処理モデルでは、読み手は中心窩で注視している単語のみではなく、視力が比較的劣っている傍中心窩（parafoveal）で捉えている単語にも同時に注意を当て、二つ以上の単語を同時に処理していると考えられている [6]。このような注視されている単語が次の単語に影響されている効果は、parafoveal-on-foveal 効果（PoF 効果）と呼ばれている [7]。従って、並列処理の観点では、注視している単語の注視時間は、次の単語を含む複数の単語の語彙情報に影響されると考えられている。それからの 12 年間に、この二つの対立的な理論を巡り、たくさんの研究は激しい論争を行った。

これらの研究は単語の出現頻度をコントロールし、英語、ドイツ語、中国語、日本語など異なる言語の文章を利用して大量な実験を行った。彼らの実験の方法論は、もし注視している単語 N の注視時間が、次の単語 $N+1$ を含む複数の単語の語彙情報に影響されたら、単語 $N+1$ が日常用語で出現頻度の高い場合 (HF) より単語 $N+1$ が出現頻度の低い場合 (LF) は、単語 N の注視時間が長いと考えられる。表 1.1 のように、HF の場合より、LF の方が単語 ‘a’ の注視時間が長いと考えられる。こうした方法で読む際に読み手の眼球運動データを単語単位で分析する手法を用いて PoF 効果を観察した結果、単語 N が単語 $N+1$ の語彙情報に影響されるという報告があった [7, 8, 9]。それらの報告の結論は SWIFT モデルという理論を支持する。つまり、その結果は読解プロセスが並列処理であることを示した。もう一方、同じ方法を使い、単語 N が単語 $N+1$ の語彙情報に影響されていない結果が多く報告にあった [10, 11]。彼らの結論は読解プロセスが直列処理という理論を支持する。さらに、Angele らの研究 [12] より、単語 $N+1$ の出現頻度が低い場合、単語 N の注視時間は短くなるという結果もあった。

従って、注視している単語における注視時間は、次の単語の語彙情報に影響されるかどうかまだ分かっていない。また、先行研究ではほぼ読解プロセスは直列処理であるか並列処理であるかという対立な理論を巡り、論争を行った。しかし、直列処理または並列処理ということだけの考察は読解プロセスのメカニズムの解明に対して、まだ十分ではない。読解プロセスのメカニズムを解明するため、人間は各単語の語彙アクセスからどのように文の全体を構成して理解するかを考察する必要がある。

表 1.1: 単語 $N+1$ の出現頻度の高いと低い例

HF:	<i>In the article he was reading, he saw a word that needed to be corrected.</i>
LF:	<i>In the article he was reading, he saw a typo that needed to be corrected.</i>

1.2 研究目的

こうした背景の中で、本研究の目的は、以下の2点である。

1. 注視している単語における注視時間は、次の単語の語彙情報に影響されるかどうかということを考察する。さらに、読解プロセスはtop-down プロセスであるかbottom-up プロセスであるかということを明らかにしたい。
2. 読解プロセスの初期段階と後期段階という二つの段階から読解プロセスを考察する。それをに基づいて読解プロセスのメカニズムを推測する。

1.3 論文の構成

本論文は本章を含めて6章から構成される。

第一章では、まず読解に関する先行研究を紹介し、本研究の目的を明らかにする。

第二章では、本研究のための実験システムの構成について紹介する。

第三章では、先行研究の方法論について検討をするし、単語の出現頻度により単語認知の差異性実験を行った。その結果は先行研究の方法論がまだ検討する余地があることを示した。

第四章では、単語の形態情報をコントロールするという方法を利用し、注視している単語における注視時間は、次の単語の語彙情報に影響されるかどうかという PoF 効果の考察実験を行った。その上に、実験の結果に基づいて読解プロセスの早期段階と晚期段階から読解プロセスのメカニズムを推測した。

第五章では、第四章の実験データを用いて、追加分析を行った。第四章が単語の形態情報をコントロールするという方法より実験を行った。本章で、その形態情報の変化は読解への影響を考察した。そのゆえ、人間は単語の形態情報を依存して文を理解するかまたは音韻情報を依存して文を理解するかという問題を検討した。

第六章では、本論文で述べている研究の内容とその成果を総括する。また、今後の研究課題についても述べる。

第2章 実験システムの構成

本章で、実験を行うためのシステムの構築について紹介する。

2.1 実験の装置

本研究は EyeLink 1000 plus（サンプリング周波数は 1000Hz）という眼球運動計測装置を用いて行った。EyeLink 1000 plus は SR research 社が開発されたデスクトップマウント型のハイスピード眼球運動追跡装置である。EyeLink 1000 plus のサンプリング周波数が高いので、高精度での眼球運動追従が可能になる。さらに、EyeLink 1000 plus は様々なインタフェースを提供し、プログラミング言語よりの制御も可能である。そのため、数多くの研究者は EyeLink 1000 plus を用いて研究を行った。

図 2.1: 眼球運動計測装置

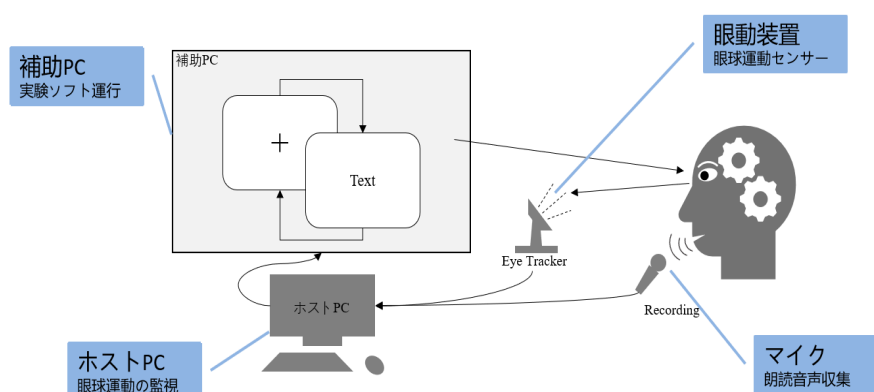


EyeLink 1000 plus を制御するため、Matlab の PTB ツールボックス（Psychophysics Toolbox）により実験のシステムを構築した。PTB ツールボックスとは、心理学の実験環

境を構築するために必要となるツールボックスである。このツールボックスを用いることで、タスクの設計からデータの解析までを Matlab 上で統合的に扱うことができる。そして、プログラミングの開発における負担が著しく減少できる。

図 2.2 は眼球運動実験システムの全体像である。

図 2.2: 実験システムの全体像



2.2 システムの設計と実行手順

本実験システムは、主に以下の三つのスレッドで構成された。

- ユーザー設定スレッド：ユーザーのID、名前、年齢、実験種類の選択などの設定を行う。その設定に応じて、システムが異なるコーパスをユーザーに提示する。
- データ収集スレッド：読解中の眼球運動データと音声データを収集する。
- データ保存スレッド：ユーザーが設定した情報及び実験データを保存し、簡単なデータ分析を行う。

図 2.3 のように、実験を始める前に、被験者が眼球運動計測装置に向けて正座し、あご台に頭をのせた¹。すべての情報入力を終わってから、補助 PC のモニターを用いてキャリブレーションを行った。すべての誤差の平均値は 0.5 以下の場合、キャリブレーションが終わった。その後、正式の実験に入った。ユーザーの設定に応じて異なる実験を行った。実験中に、被験者のすべての眼球運動データ (.edf) および音声データ (.mat) を記録して補助 PC に保存した。実験中のすべての手順はホスト PC にコントロールされる。

¹完全に頭部を固定する必要はない。そして、会話時の頭部の動きなどゆるやかな動きは特殊な処理でオフセットできるので、被験者は自然に近い状況でタスクに参加することができる。

図 2.3: 被験者の設置およびキャリブレーション



(a) 実験中に被験者の様子



(b) 眼球運動のキャリブレーション

第3章 出現頻度により単語認知の差異性

いままでの PoF 効果の検証に関するほとんどの研究には、単語の出現頻度をコントロールし、PoF 効果を考察するが、たくさんの矛盾な結果を得た。単語の出現頻度をコントロールするという方法論の信頼性を考察するため、私たちは先にこの研究を行った。

3.1 実験の設計

一体単語の認知は、どのように単語の出現頻度に影響されるかを考察するため、私たちは以下の実験を設計した。実験のコーパスを用意するため、中国語の中で出現頻度高いと低い単語を 40 個ずつ選んだ。さらに、その認知の難易度を増やすため、私たちは異なる 2 文字単語を組み合わせ、40 個オーバーラッピング文字列を作った。例えば、「学生活」という文字列のように、真ん中の文字「生」が左の文字「学」と組合すと「学生」という 2 文字単語になり、右の文字「活」と組合すと「生活」という 2 文字単語にも変わる。表 3.1 に示すように、このような文字列を、出現頻度の高い二つの 2 文字単語の組合せ (HH)、出現頻度の高いと低い 2 文字単語の組合せ (HL)、出現頻度の低いと高い 2 文字単語の組合せ (LH)、および出現頻度の低い二つの 2 文字単語の組合せ (LL) という 4 つのグループに分けた。それらの単語を 80ms の間に被験者に見せる。被験者が先に認知した 2 文字単語を口頭で報告する。

表 3.1: 実験用のコーパスの例

	HH		HL		LH		LL	
Example	科学生		文学前		營生活		河谷倉	
Constituted word	科学	学生	文学	学前	營生	生活	河谷	谷倉
Word meaning	science	student	literature	preschool	job	life	valley	granary
Word frequency	2425	2651	2387	10	12	2258	17	12

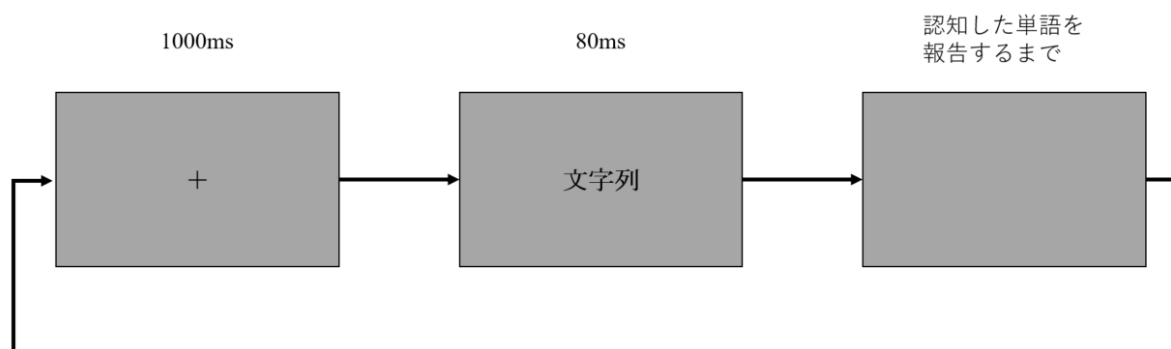
3.2 被験者

正常の視力または矯正視力を持つ 10 名中国語母語話者の大学院生がこの実験に参加した。この中に、20 代の男性 7 名、女性 3 名である。彼らは閱讀障害症などの既往歴がない。

3.3 実験の手順

実験の流れは図 3.1 に示す。毎回の刺激を呈示する前、まずモニタの中央に「+」のマークを 1000ms の間に提示して被験者の注意力を喚起した。その直後、オーバーラッピング文字列が 80ms[13] の間に呈示してから消えた。その後、何にも写っていない画面に来た。被験者が先に認知した 2 文字単語を口頭で報告するまで、次のタスクに進まなかった。練習用の文字列に合わせ、一名の被験者は 60 回の文字列を認知させた。実験中のすべての刺激は灰色の背景 (RGB:128,128,128) に Song-30 ポイントの黒い文字 (RGB:0,0,0) で呈示した。被験者はモニタより 65cm の距離に離れていた。

図 3.1: 実験の流れ



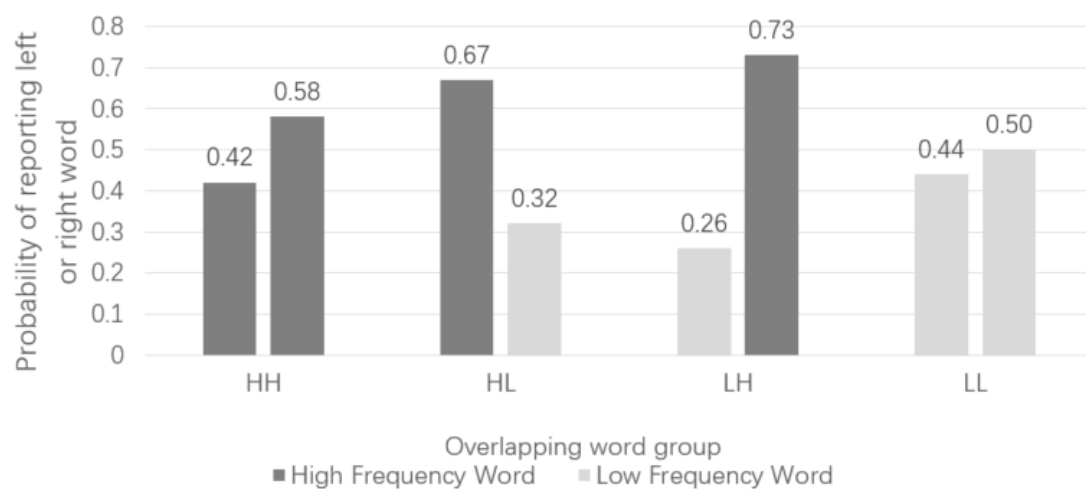
3.4 実験の結果

私たちは各グループの 2 文字単語の報告率を統計した。この結果の中に、約 0.03 のデータは被験者が報告ミスまたは報告できないため削除した。そのため、左と右単語の報告率の総和は 1 以下の場合もある。最終の結果は図 3.2 に示す。

実験の結果により、HL グループで ANOVA 検証より左の単語の報告率 ($M=.67, SE=.04$) と右の報告率 ($M=.32, SE=.04$) と比べ $F(1,16)=36.26, p<.001$ 。LH グループで ANOVA 検証より左の単語の報告率 ($M=.26, SE=.07$) と右の報告率 ($M=.73, SE=.07$) と比べ $F(1,16)=21.01, p<.001$ 。つまり、文字列の左と右単語の出現頻度は異なる時、被験者が出現頻度高い単語を選んで報告傾向がある。しかし、HH グループで ANOVA 検証より左

の単語の報告率 ($M=.42, SE=.06$) と右の報告率 ($M=.58, SE=.06$) と比べ $F(1,16)=3.7$, $p = 0.07 > .05$ 。LL グループで ANOVA 検証より左の単語の報告率 ($M=.44, SE=.043$) と右の報告率 ($M=.50, SE=.045$) と比べ $F(1,16)=0.74$, $p = 0.4 > .05$ 。そして、HH と LL の正答率と比べ $F(1,34)=0.26$, $p = 0.61 > .05$ 。その結果は文字列の左と右単語の出現頻度は同じ時、単語出現頻度の高低を問わず、被験者が同じ選択傾向を持っている。80ms さえ呈示すれば、単語の出現頻度はあまり単語の認知へ影響しないと示す。単語の出現頻度をコントロールするという方法論の信頼性が低いと示した。

図 3.2: 実験結果



第4章 PoF 効果の考察に関する研究

私たちの研究は、単語の出現頻度を用いた PoF 効果を考察するという方法の信頼性が低いと示す。そのため、本研究でより新しい方法、単語の形態情報をコントロールすることにより、PoF 効果の考察を行った。

4.1 実験の設計

図 4.1 に示すように、実験用のコーパスを用意するため、私たちは中国語の中に 36 個出現頻度の高い 2 文字単語 (correct target word) を選んだ。これらの 2 文字単語の形態情報を変えて、「元の単語の形態情報 (orthography target word)」に似ていると「元の単語の音韻情報 (phonology target word)」に似ている 2 文字単語がそれぞれ 36 個を用意する。

図 4.1: 元の単語と形態情報変化後の単語

Correct target word			Orthography target word		Phonology target word	
Word stroke	Word pronunciation	Word meaning	Word stroke	Word pronunciation	Word stroke	Word pronunciation
致使	Zhi4shi3	Lead	郅使	Ye4shi3	制使	Zhi4shi3
填写	Tian2xie3	write	填与	Tian2yu3	填血	Tian2xie3
鼓励	Gu3li4	encourage	鼓励	Chi3mai4	谷粒	Gu3li4

そして、図 4.2 のように、これらの単語を用いて 36 個自然句を作った。さらに、36 個自然句を三つのグループに分かれた。これらのグループの中に、2 文字単語の左側の文字だけ変わるグループ (LCCG)、単語の右側の文字だけ変わるグループ (RCCG)、および単語の 2 文字全部変わるグループ (BCCG) がある。それらのグループは完全にラテン方格のデザインを用いて被験者に呈示した。そのようなデザインは各単語またはこの単語変化後の単語を一回だけ被験者に見られることを保証できる。

図 4.2: 実験のコーパスの例

LCCG Correct target word: 昨夜燃气爆炸 <u>致</u> 使多条交通道路瘫痪。	RCCG Correct target word: 大学教授正在填 <u>写</u> 国家项目申请书。	BCCG Correct target word: 有关部门大力 <u>鼓励</u> 农民使用新型化肥。
Orthography target word: 昨夜燃气爆炸 <u>部</u> 使多条交通道路瘫痪。	Orthography target word: 大学教授正在填 <u>与</u> 国家项目申请书。	Orthography target word: 有关部门大力 <u>鼓励</u> 农民使用新型化肥。
Phonology target word: 昨夜燃气爆炸 <u>制</u> 使多条交通道路瘫痪。	Phonology target word: 大学教授正在填 <u>血</u> 国家项目申请书。	Phonology target word: 有关部门大力 <u>谷粒</u> 农民使用新型化肥。

表 4.1: 図 4.2 のコーパスの訳文

LCCG	Last night the gas explosion caused discommodious traffic.
RCCG	Professors are completing national project applications.
BCCG	The relevant departments strongly encourage farmers to use new fertilizers.

4.2 被験者

正常の視力または矯正視力を持つ 24 名中国語母語話者の大学院生がこの実験に参加した。この中に、20 代の男性 16 名、女性 8 名である。彼らは閱讀障害症などの既往歴がない。

4.3 実験の手順

実験の流れは図 4.3 に示す。毎回の刺激を呈示する前、まずモニタの中央に「+」のマークを 1000ms の間に提示して被験者の注意力を喚起した。その直後、自然句が被験者に呈示した。被験者がそれを読み終わったら（黙読）、‘Esc’ 鍵を押して次の自然句に進んだ。被験者が真面目に文章を読むことを確認するため、ある自然句の後、この句に関する読解問題がある。被験者がそれを○か×を口頭で報告した。表 4.2 は読解問題の例である。練習用の自然句に合わせ、一名の被験者は 42 個自然句を読ませ、および 30 個読解問題を回答させた。実験中のすべての刺激は灰色の背景（RGB:128,128,128）に Song-30 ポイントの黒い文字（RGB:0,0,0）で呈示した。被験者はモニタより 65cm の距離に離れていた。

図 4.3: 実験の流れ

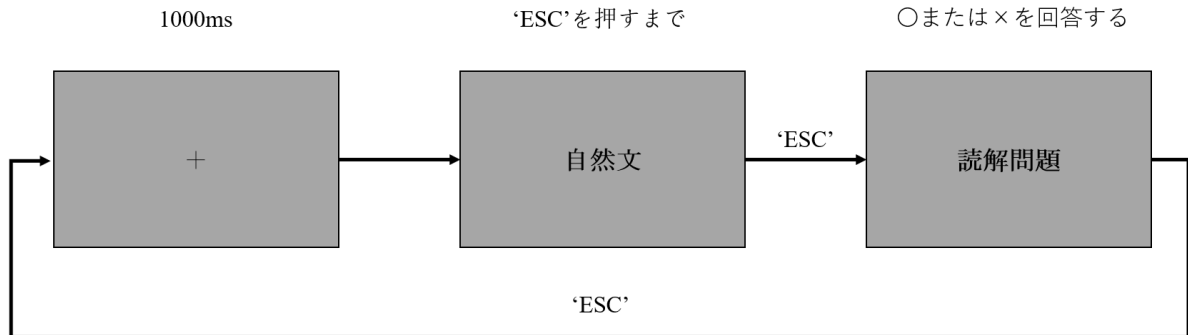


表 4.2: 読解問題の例

1.	昨夜大雨致使交通道路阻塞？
	Last night the heavy rain caused discommodious traffic?
2.	教授可能在申請某一項目？
	Are professors completing national project applications?
3.	相關部門強制農民使用新型化肥？
	Relevant departments forced farmers to use new fertilizers?

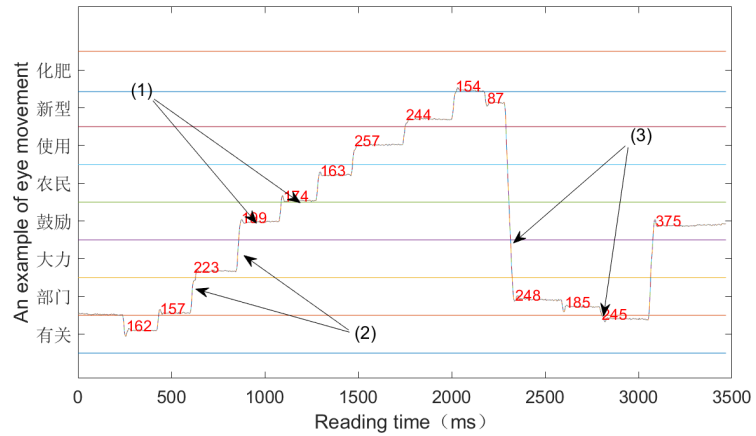
4.4 眼球運動のパラメータ

この節では、眼球運動の研究でよく使うパラメータを紹介する。図 4.4 はある被験者の眼球運動データを示す。

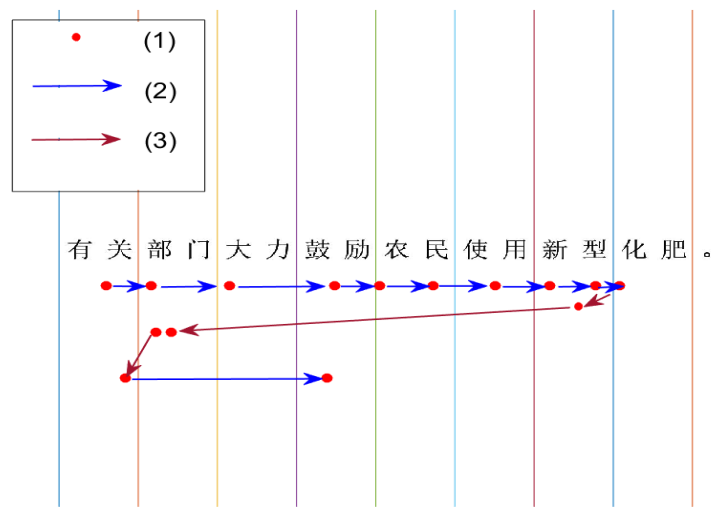
EyeLink1000 plus では、一秒間に 1000 回の視点計測を行う。視点が一定の範囲内にとどまると判断できた時、それを「注視点 (fixation)」と呼ぶ。図 4.4 の (1) にさすもの。

注視点と注視点の間の素早い動きは「サッカード (saccade)」と呼ぶ。図 4.4 の (2) にさすもの。しかし、図 4.4 の (3) のような右からの左方向へ（読み順の逆方向）のサッカードもある、それは「読み返す (look-back)」と呼ぶ。

図 4.4: 被験者の眼球運動



(a) 眼球運動のサンプリング点図



An example of eye movement

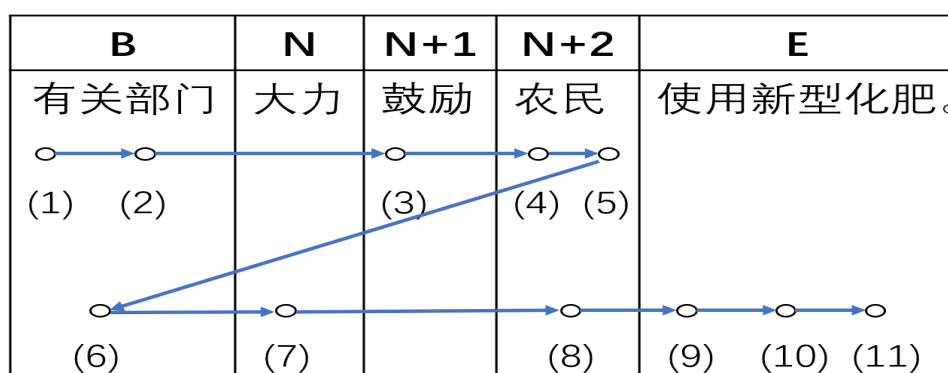
(b) 眼球運動の注視点図

自然句の上に分析対象とするエリア「ROI (region of interest)」を指定すれば、より定量的な分析も行うことができる。図 4.5 はある仮想の眼球運動の注視点図¹。

本研究で、以下の三つのパラメータを使う。

1. 初回注視時間 (first fixation duration) : 指定した ROI を第一回読む時、最初の注視点の長さは初回注視時間と呼ぶ。エリア B の初回注視時間は注視点 (1) の長さであり、E のは (9) の長さである。特に、エリア N の第一回読む時、注視点がないので、初回注視時間もない。初回注視時間というパラメータは読解プロセスの早期加工、語彙理解の段階を反映できる。
2. 凝視時間 (gaze duration) : 指定した ROI の最初の注視点から、第一回にこの ROI を離れるまで、この間にすべての注視点の長さは凝視時間と呼ぶ。エリア B の凝視時間は注視点 (1) と (2) の長さであり、E のは (9)、(10) と (11) の長さである。エリア N + 1 は一つの注視点しかないので、凝視時間と初回注視時間と等しい。凝視時間というパラメータも読解プロセスの早期加工を反映できる。
3. 総注視点時間 (total fixation duration) : 指定した ROI のすべての注視点の長さの合計は総注視点時間と呼ぶ²。エリア B の総注視点時間は (1)、(2) と (6) の長さであり。総注視点時間というパラメータが読解の晩期プロセスを反映できる。

図 4.5: 仮想の眼球運動注視点図



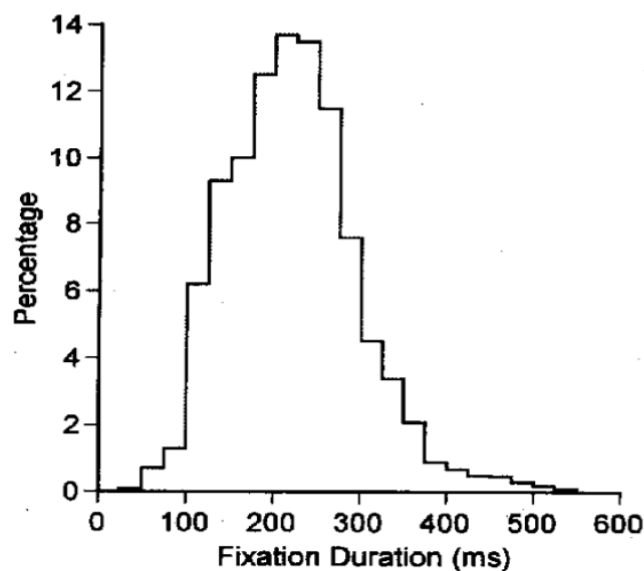
¹各 ROI が縦線に分けられる。点は注視点を表す。矢印はサッカードの方向である。数字は注視順を示す。

²サッカードの時間は含まない。

4.5 データの前処理

30 個の読解問題にとって、すべての被験者がほぼ正解であった。すべての被験者が真面目に文章を読んで理解するということを分かった。図 4.6 は、注視点の注視時間の分布図である [14]。図 4.6 により、読書で一つの注視点の一般的な長さは、200ms 程度に分布する。600ms 程度の注視点はかなり少ない。そのため、本研究で長さは 600ms 秒以上の注視点が極端的な値として削除した。また、McConkie の研究 [15] により読解のプロセスを考察した時、140ms 以下の注視点も削除すべきである。従って、本研究も 140ms 以下の注視点を削除した。さらに、平均値より 2 倍標準偏差以外の値も除外した。

図 4.6: 読書中の注視時間の分布図



4.6 実験の結果

定量的な分析も行うため、すべての自然句の上に三つの ROI を定義した。

- ROI N : 形態情報の変化がある単語前の 2 文字単語はエリア N と呼ぶ。
- ROI N+1 : 形態情報の変化がある単語はエリア N+1 と呼ぶ。
- ROI N+2 : 形態情報の変化がある単語後の 2 文字単語はエリア N+2 と呼ぶ。

図 4.7: ROI の定義

		N	N + 1	N + 2	
LCCG	昨夜燃气	爆炸	致使/郅使/制使	多条	交通道路瘫痪。
RCCG	大学教授	正在	填写/填与/填血	国家	项目申请书。
BCCG	有关部门	大力	鼓励/鼓励/谷粒	农民	使用新型化肥。

私たちは各 ROI の平均初回注視時間、平均凝視時間と平均総注視時間を統計した。結果は以下である。

図 4.8³は各グループの各 ROI の平均初回注視時間である。ANOVA 分析を行った結果、LCCG グループの N エリアで correct target word、orthography target word と phonology target word の平均初回注視時間の間に有意差がなかった $F(2,204)=1.10, p=0.33>0.05$ 。それは LCCG の N エリアの平均初回注視時間が漢字の形態情報の変化がある N+1 エリアに影響されないと言える。LCCG グループの N+1 エリアで、その三者の間に有意差があった $F(2,209)=3.51, p=0.03<0.05$ 。また、LCCG グループの N+2 エリアで三者の間に有意差がなかった $F(2,202)=1.75, p=0.18>0.05$ 。それは、LCCG の N+2 エリアの平均初回注視時間も変化がある N+1 エリアに影響されないと言える。RCCG グループの N エリアで correct target word、orthography target word と phonology target word の平均初回注視時間の間にも有意差がなかった $F(2,197)=1.40, p=0.25>0.05$ 。また、RCCG グループのエリア N+1 での三者の間に有意差も出なかった $F(2,193)=0.26, p=0.77>0.05$ 。そして、RCCG グループのエリア N+2 での三者の間に有意差もなかった $F(2,193)=0.55, p=0.58>0.05$ 。BCCG グループも同じ、N エリアで correct target word、orthography target word と phonology target word の平均初回注視時間の間に有意差がなかった $F(2,175)=1.02, p=0.36>0.05$ 、BCCG グループのエリア N+1 で、その有意差があった $F(2,204)=3.61, p=0.03<0.05$ 。BCCG グループのエリア N+2 で三者の平均初回注視時の間に差がなかった $F(2,189)=1.68, p=0.19>0.05$ 。以上の結果により、N エリアの単語の平均初回注視時間が N+1 エリアの単語に影響されない。さらに、N + 2 エリアの漢字の平均初回注視時間も N+1 エリアの漢字に影響されない。

³ *: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$

図 4.8: 各 ROI の平均初回注視時間

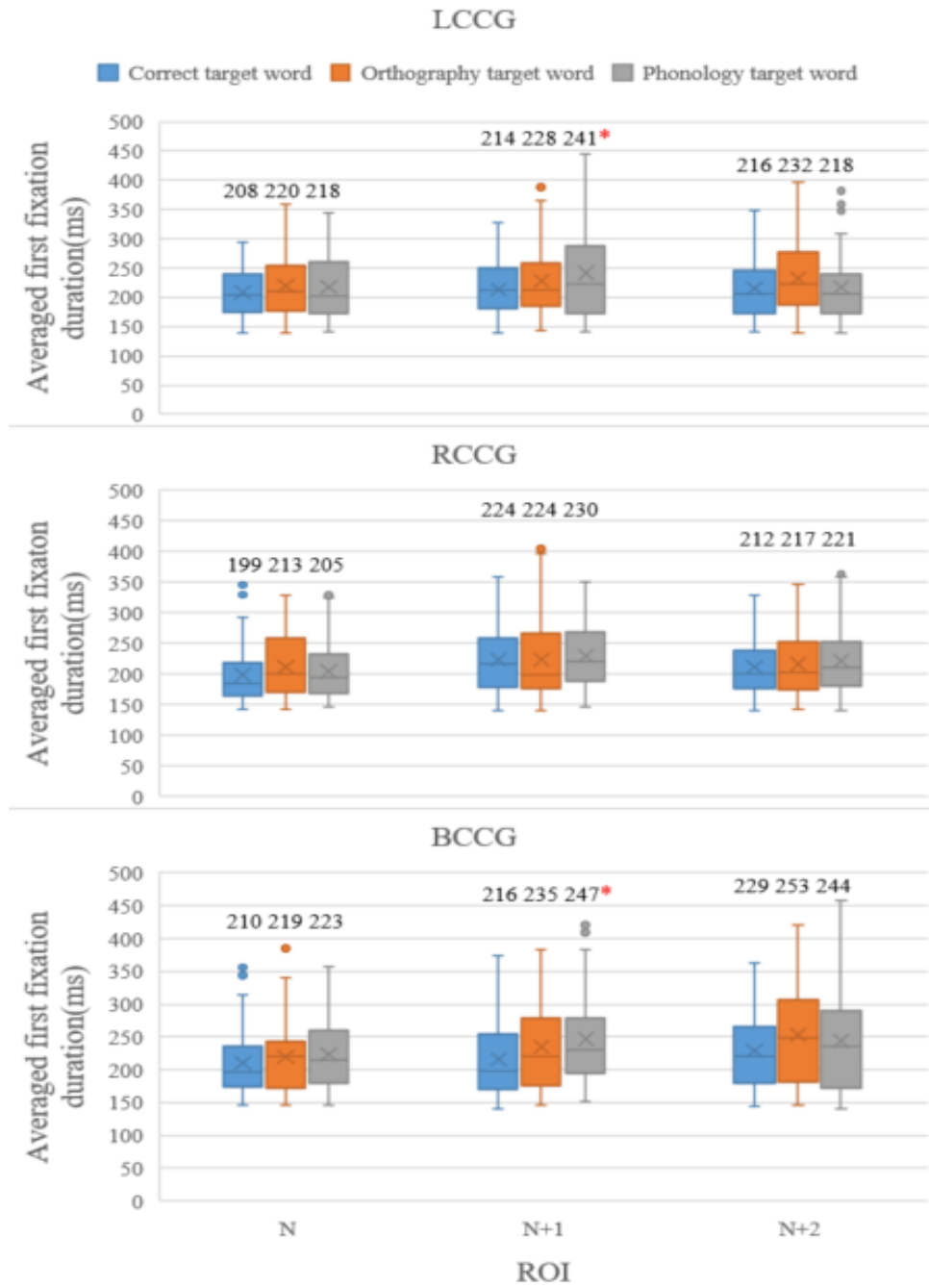


図 4.9⁴は各グループの各 ROI の平均凝視時間である。ANOVA 分析を行った結果、LCCG グループの N エリアで correct target word、orthography target word と phonology target word の平均凝視時間の間に有意差がなかった $F(2,190)=2.67, p=0.07>0.05$ 。それは LCCG の N エリアの平均凝視時間が漢字の形態情報の変化がある N+1 エリアに影響されないと言える。LCCG グループの N+1 エリアで、三者の平均凝視時間の間に有意差が出てきた $F(2,202)=9.2, p<0.01$ 。また、LCCG の N+2 エリアで三者の平均凝視時間の間に有意差がなかった $F(2,194)=0.05, p=0.96>0.05$ 。RCCG グループの N エリアで correct target word、orthography target word と phonology target word の平均凝視時間の間に有意差がない $F(2,184)=0.06, p=0.94>0.05$ 。RCCG グループの N+1 エリアで、三者の平均凝視時間の間に有意差が出た $F(2,179)=11.05, p<0.01$ 。RCCG グループの N+2 エリアで三者の平均凝視時間の間に有意差がなかった $F(2,181)=0.36, p=0.70>0.05$ 。BCCG グループの N エリアで correct target word、orthography target word と phonology target word の平均凝視時間の間に有意差がなかった $F(2,166)=1.50, p=0.23>0.05$ 、BCCG グループのエリア N+1 で、三者の平均凝視時間の間に有意差があった $F(2,194)=12.66, p<0.01$ 。BCCG グループの N+2 エリアで三者の平均凝視時間の間に有意差がなかった $F(2,179)=3.02, p=0.06>0.05$ 。以上の結果により、N エリアと N + 2 エリアの単語の平均凝視時間とも N+1 エリアの単語に影響されない。

⁴ *: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$

図 4.9: 各 ROI の平均凝視時間

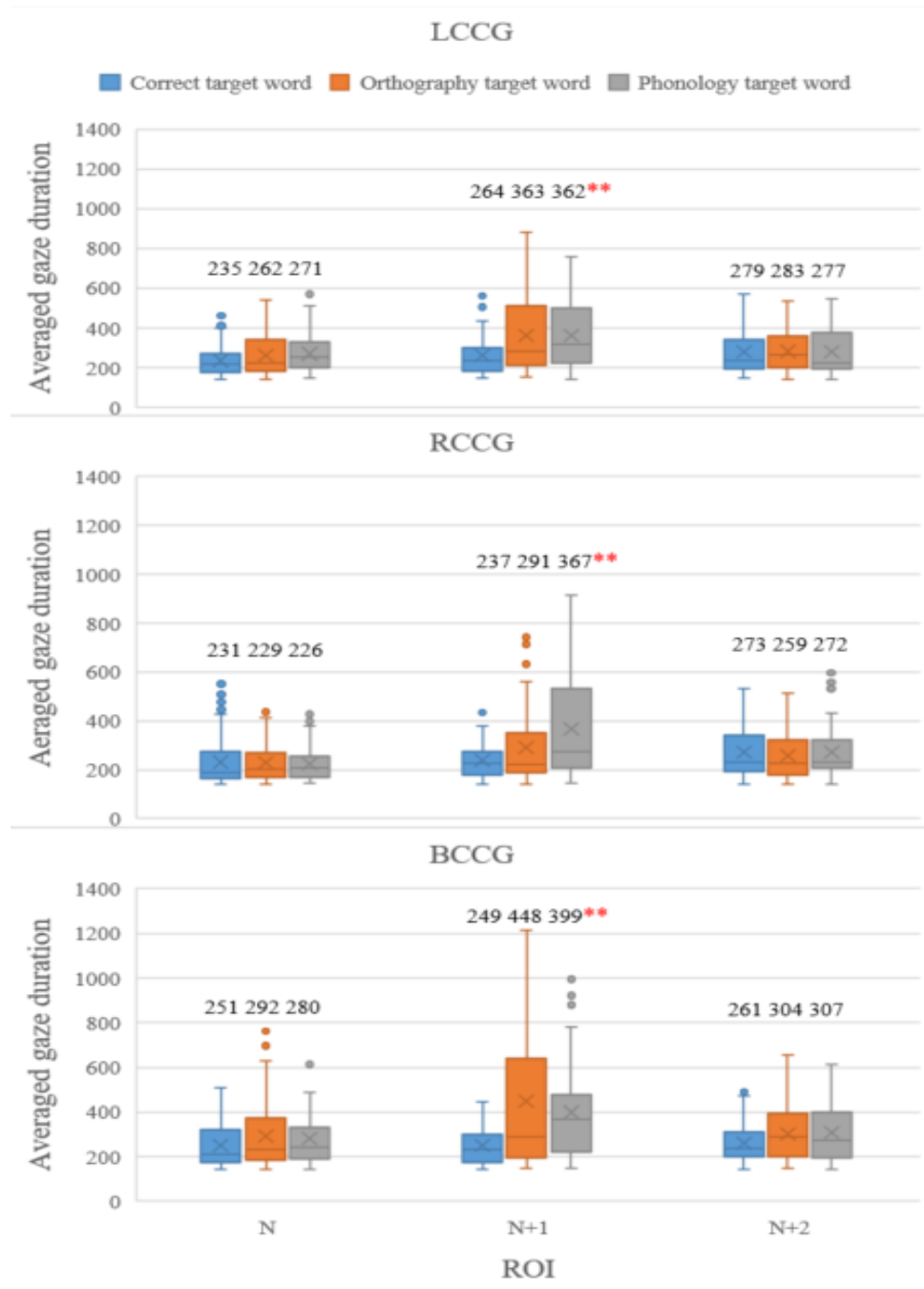
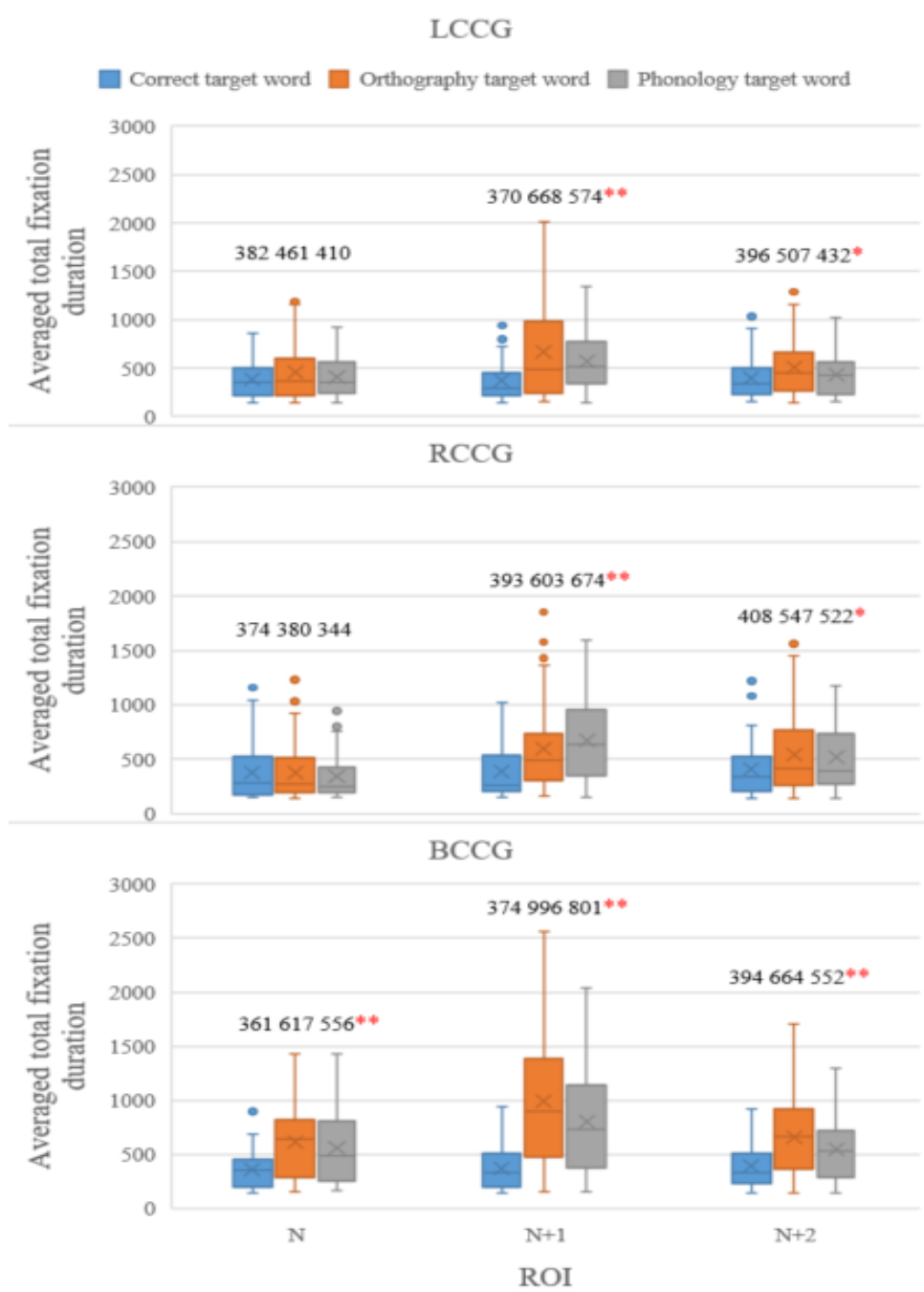


図 4.10⁵は各グループの各 ROI の平均総注視時間である。ANOVA 分析を行った結果、LCCG グループの N エリアで correct target word、orthography target word と phonology target word の平均総注視時間の間に有意差がなかった $F(2,195)=1.96, p=0.14>0.05$ 。LCCG グループの N+1 エリアで、三者の平均総注視時間の間に有意差が出てきた $F(2,198)=11.40, p<0.01$ 。LCCG グループの N+2 エリアで三者の平均総注視時間の間に有意差もあった $F(2,193)=3.41, p=0.03<0.05$ 。また、RCCG グループの N エリアで correct target word、orthography target word と phonology target word の平均総注視時間の間に有意差がなかった $F(2,185)=0.38, p=0.68>0.05$ 。RCCG グループの N+1 エリアで、三者の平均総注視時間の間に有意差が出た $F(2,181)=10.77, p<0.01$ 。RCCG グループの N+2 エリアで三者の平均総注視時間の間に有意差もあった $F(2,187)=3.22, p=0.04<0.05$ 。BCCG グループの N エリアで correct target word、orthography target word と phonology target word の平均総注視時間の間に有意差があった $F(2,167)=10.42, p=<0.01$ 。BCCG グループの N+1 エリアで、三者の平均総注視時間の間に有意差もあった $F(2,193)=28.04, p<0.01$ 。BCCG グループの N+2 エリアで三者の間に有意差もあった $F(2,180)=11.53, p=<0.01$ 。以上の結果により、N エリアと N + 2 エリアの単語の平均総注視時間とも N+1 エリアの単語に影響される。

ある結果は LCCG と RCCG で明らかではない。その理由は単語の一文字だけ変わる時、被験者がより簡単に単語の意味を理解できると考える。

⁵ *: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$

図 4.10: 各 ROI の平均総注視時間



4.7 結論

実験の結果により、単語 $N+1$ は単語 N と単語 $N+2$ の処理とも影響しない。そのため、読解プロセスに PoF 効果がないということが分かった。読解プロセスも直列処理である。

また、早期段階を反映するパラメータより単語 $N+1$ は単語 N と単語 $N+2$ の処理とも影響しないという結果は、読解プロセスの早期段階で、各単語の処理は相互に影響しない。各単語はほぼ独立して人間のワーキングメモリに入り続く。晚期段階を反映するパラメータより単語 $N+1$ は単語 N と単語 $N+2$ の処理とも影響するという結果は、読解プロセスの晚期段階で各単語の処理は相互に影響し始める。各単語がワーキングメモリから取り出され、人間は各単語の語彙情報を相互結合して意味がある文を構築した上に理解すると考える。

第5章 追加分析

本章で、以上の実験データを用いて漢字の形態情報と音韻情報が読解への影響を考察した。

5.1 読解は漢字の形態・音韻情報への依存性

漢字は形態情報、音韻情報及び語彙情報の三位一体の言語であるため、漢字単語の認知処理する場合は形態情報を依存するかまたは音韻情報を依存するかまだ判明されていない。漢字単語の認知処理に対し、二つの対立的な理論がある。一つの理論は視覚入力 of 単語の形態情報が直接人間の心理辞書をアクセスして語彙を理解する (orthography to semantic)[16]。この理論によって単語の認知は主に単語の形態情報に依存し、単語の音韻情報とあまり関係がない。Li たちの研究 [17] が漢字単語を認知処理する場合は漢字の形態情報への依存度は高く、音韻情報への依存度は低いと示す。彼らの研究も orthography to semantic の理論を支持する。もう一つの理論は視覚入力 of 単語の形態情報がまず単語の音韻情報を活性化する。その後、人間は単語の音韻情報を利用して語彙を理解する (orthography-phonology to semantic)[18]。この理論によって単語の認知は単語の音韻情報に依存する必要がある。単語の形態情報は主に単語の音韻情報を提示し、単語の理解と関係がない。Mizuno たちの研究 [19] により、中国語漢字の形態情報への依存度は弱く、音韻情報への依存度は強くと考えられる。彼らの研究は orthography-phonology to semantic という理論を支持する。

こうした背景の中で、私たちは追加分析により漢字の形態情報と音韻情報が読解への影響を考察した。この考察の目的は漢字の形態情報また音韻情報が、どちらが読解に役割を立つかを判明したい。

5.2 読み返す回数の考察

指定した ROI を再読する回数は読み返す回数と呼ぶ。読み返す回数は読解と強い関係がある。文が難しくなる時、読み返す回数も増やす。そのため、読み返す回数というパラメータは文の理解の難易度を反映することができる。

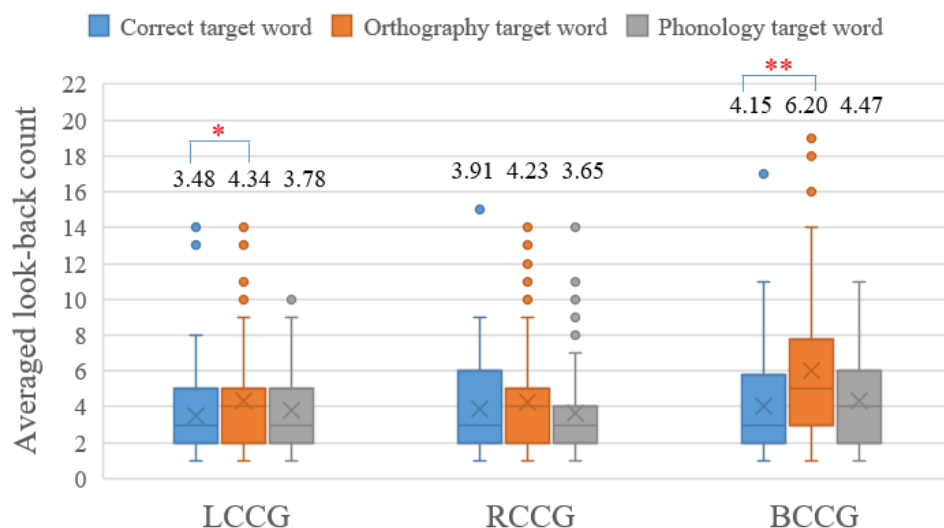
図 5.1¹ は LCCG、RCCG と BCCG の各グループの平均読み返す回数である。T 検証を

¹ *: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$

行った結果、LCCG グループで correct target word と orthography target word の平均読み返す回数に有意差があったが $t(170)=-1.82, p < 0.05$ 。correct target word と phonology target word の平均読み返す回数に有意差はなかった $t(178)=-1.30, p = 0.20 > 0.05$ 。それは LCCG グループで単語の音韻情報と平均読み返す回数と大きな関連性があると言える。そして、RCCG グループで correct target word と orthography target word 及び correct target word と phonology target word の平均読み返す回数に有意差ともなかった [$t(135)=-0.60, p = 0.55 > 0.05$ 及び $t(136)=0.51, p = 0.61 > 0.05$]。RCCG グループで形態情報の変化と音韻情報の変化とも平均読み返す回数を影響しない。また、BCCG グループで correct target word と orthography target word の平均読み返す回数に有意差もあったが $t(123)=-3.24, p < 0.01$ 。correct target word と phonology target word の平均読み返す回数に有意差はなかった $t(135)=-0.69, p = 0.49 > 0.05$ 。BCCG グループでも単語の音韻情報と平均読み返す回数と大きな関連性があると言える。

従って、読み返す回数は主に単語の音韻情報に依存し、単語の形態情報とあまり関係がない。

図 5.1: 各グループの平均読み返す回数



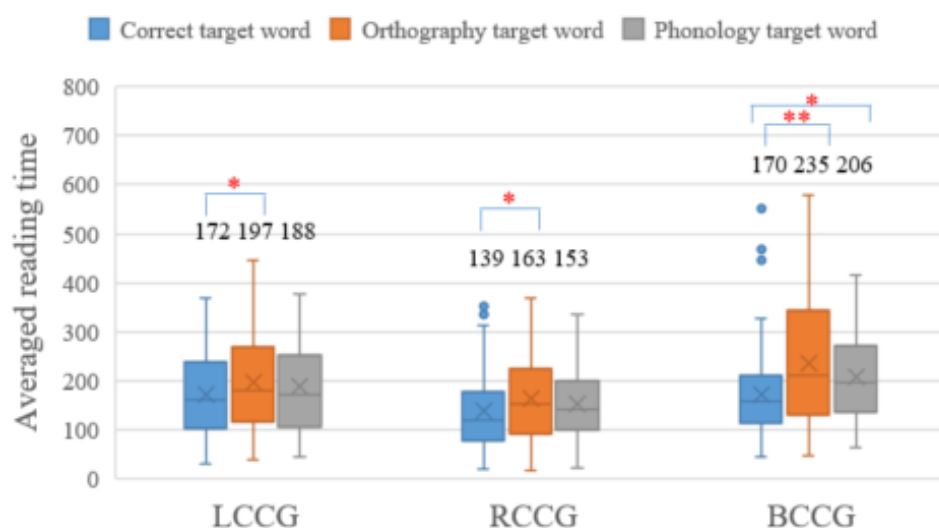
5.3 読み時間の考察

文の中に、すべての注視点の長さはこの文の読み時間と呼ぶ。この中にサッカードの時間は含まない。文が難しくなる時、読み時間も増やす。そのため、読み返す回数というパラメータも文の理解の難易度を反映することができる。

図 5.2²は LCCG、RCCG と BCCG の各グループの平均読み時間である。T 検証を行った結果、LCCG グループで correct target word と orthography target word の平均読み時間の間に有意差があったが $t(170)=-1.82$, $p < 0.05$ 、correct target word と phonology target word の平均読み時間の間に有意差はなかった $t(178)=-1.30$, $p = 0.20 > 0.05$ 。それは LCCG グループで単語の音韻情報と平均読み時間と大きな関連性があると言える。そして、RCCG グループで correct target word と orthography target word の平均読み時間の間にも有意差があったが $t(181)=-1.96$, $p < 0.05$ 、correct target word と phonology target word の平均読み時間の間に有意差はなかった $t(181)=-1.26$, $p = 0.21 > 0.05$ 。RCCG グループでも単語の音韻情報と平均読み時間と大きな関連性があると言える。また、BCCG グループで correct target word と orthography target word の平均読み時間の間にかなりの有意差があった $t(128)=-3.51$, $p < 0.01$ 。correct target word と phonology target word の平均読み時間の間にも有意差はあったが $t(150)=-2.43$, $p < 0.05$ 、orthography target word よりその差異性が小さい。BCCG グループで形態情報の変化と音韻情報の変化とも平均読み時間を影響するが、音韻情報の方が平均読み時間への影響は大きい。

従って、読み時間も主に単語の音韻情報に依存し、単語の形態情報との関係が薄い。

図 5.2: 各グループの平均読み時間



² *: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$

5.4 結論

平均読み返す回数と平均読み時間の分析から見ると、単語の音韻情報だけ正しければ、単語の形態情報が正しくない場合も、平均読み返す回数と平均読み時間への影響が小さい。逆に、単語の形態情報だけ正しければ、単語の音韻情報が正しくない場合は平均読み返す回数と平均読み時間への影響が大きい。そのため、読み返す回数であれ読み時間であれ音韻情報への依存が大きい。

従って、読解中に多くの人間はやはり音韻情報を依存して文を理解する。単語の音韻情報さえあれば、文の理解に大きな影響をしない。音韻情報は読解に大きな役割を立つことを分かった。

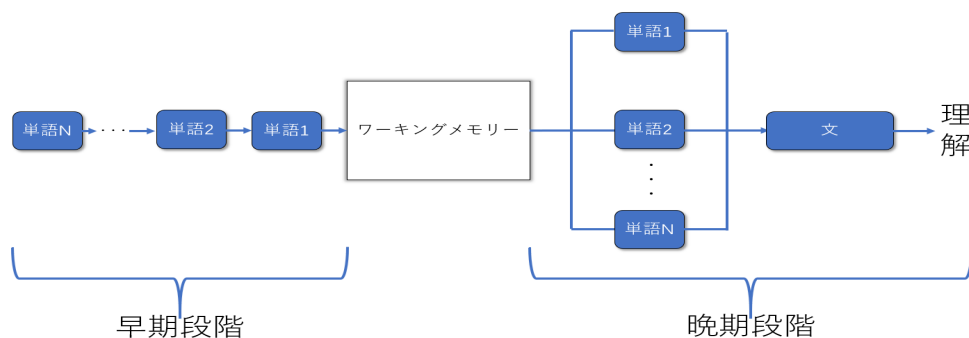
第6章 まとめと今後の課題

6.1 まとめ

本研究で、私たちはまず既存の読解に関する先行研究を概観し、本研究の目的を明らかにした。読解プロセスのメカニズムを解明するため、私たちは先に「注視している単語における注視時間は、次の単語の語彙情報に影響されるかどうか」ということを考察した。

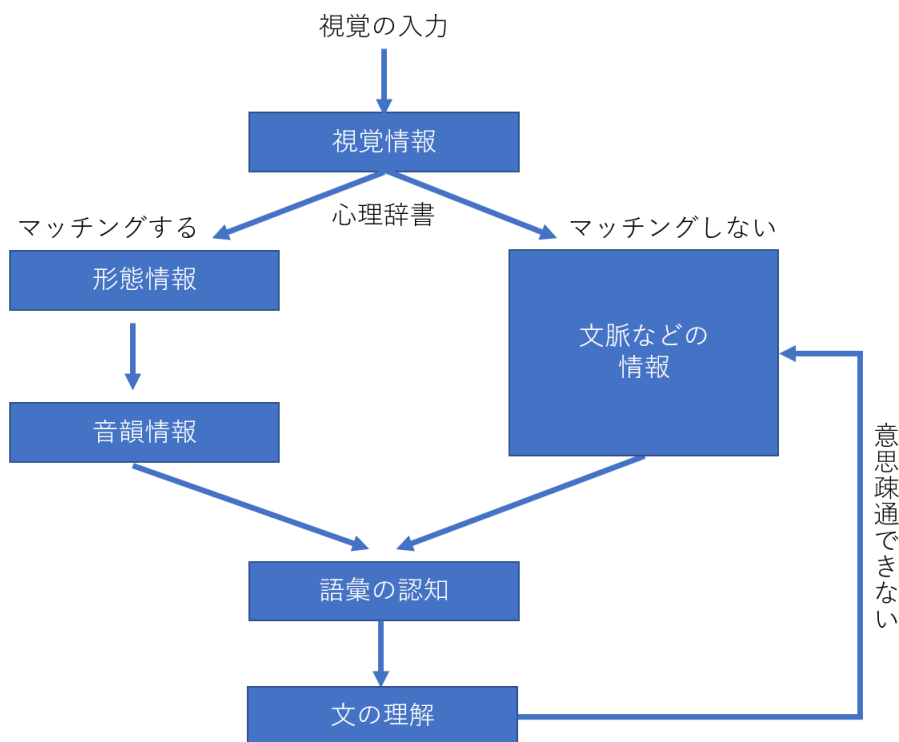
先行研究の矛盾な結果に対し、私たちは先行研究の「単語の出現頻度をコントロールする」という方法論の信頼性に関する検討を行った。検討の結果により先行研究の方法論の信頼性が低いと示した。そんな訳で、私たちは「単語の出現頻度」を代わりに「単語の形態情報をコントロールする」という方法を提出した。その方法を用いて実験を行った結果、注視している単語 N における注視時間は、次の単語 $N + 1$ の語彙情報に影響されないということを示した。つまり、読解プロセスに PoF 効果がないということが分かった。さらに、読解の早期段階を反映するパラメータよりより単語 $N + 2$ における注視時間も単語 $N + 1$ の語彙情報に影響されない。それは読解の早期段階で、各単語の処理はほぼ独立して処理されるということを考える。読解の晚期段階を反映するパラメータより、単語 N と単語 $N + 2$ における処理時間とも単語 $N + 1$ の語彙情報に影響される。それは読解の晚期段階で、各単語の処理は相互影響すること考える。つまり、読解の早期段階で認知された各単語の語彙は相互の影響なく人間のワーキングメモリに入り続く。読解プロセスの晚期段階で各単語がワーキングメモリから取り出され、人間は各単語の語彙情報を相互結合して意味がある文を構築した上で文を理解すると推測する（図 6.1）。

図 6.1: 読解プロセス



読解プロセスは形態情報を依存するかまたは音韻情報を依存するかまだ判明されていない。私たちは漢字の形態情報と音韻情報をコントロールすることより以上の実験を行ったので、この問題の検討も可能になる。そのため、私たちは以上の実験のデータを用いて追加分析を行った。その分析の結果は、多くの人間は主に音韻情報を依存して文を理解するということが分かった。また、漢字は形態情報、音韻情報及び語彙情報の三位一体の言語である。単語の形態情報が変化すると、単語の語彙もその変化に応じて変わる。そのゆえに、文の理解に対しても大きな影響がある。従って、形態情報の変化がある単語を認知する時、文脈などの情報を用いて元の単語を推測する必要がある。その考えと実験の結果に基づいて、私たちは以下の仮説を提出した。図 6.2 のように、単語は二つのルート経由して認知された。人間の視覚はまず入力した単語を感知する。もし、この単語の形態情報は心理辞書とマッチングする場合、人間は左のルートを経由し、単語の形態情報から音韻情報を得た上で語彙を理解する。このルートは top-down というプロセスをするので、処理にかかる時間も短い。もし、この単語の形態情報は心理辞書とマッチングしない場合、人間は右のルートを経由し、文脈などの情報を用いて単語の語彙を推測する。それを推測するため、文の全体を把握必要がある。処理にかかる時間も長い。最後、認知または推測した単語の語彙を用いて文の意思を疎通できない時、人間はもう一度右のルートを経由し、合理的な推測をする。

図 6.2: 単語認知ためのルート



6.2 今後の課題

本研究は実験の結果を用いて、読解プロセスのメカニズムに関する二つの仮説を提出した。しかし、それらの仮説はあくまで眼球運動を用いて観察された現象である。眼球運動だけを用いて読解プロセスのメカニズムを解明することはここでもう限界である。それらの仮説を検証するため、直接に読解中の脳の活動を観察する必要がある。

今後、私たちが読解中の脳の活動を観察した上、今の二つの仮説を検証する。さらに、脳の側面から読解プロセスのメカニズムを解明したい。

参考文献

- [1] Collins, Gary R. Christian counseling: A comprehensive guide. Word Pub,1988.
- [2] Goodman, Kenneth S. Psycholinguistic universals in the reading process. Visible Language, 1970, 4.2: 103-110.
- [3] McConkie, George W.; Rayner, Keith. The span of the effective stimulus during a fixation in reading. Attention, Perception, & Psychophysics, 1975, 17.6: 578-586.
- [4] Clifton, Charles, et al. Eye movements in reading and information processing: Keith Rayner ' s 40year legacy. Journal of Memory and Language, 2016, 86: 1-19.
- [5] Reichle, Erik D., et al. Toward a model of eye movement control in reading. Psychological review, 1998, 105.1: 125.
- [6] Engbert, Ralf; Longtin, Andr; Kliegl, Reinhold. A dynamical model of saccade generation in reading based on spatially distributed lexical processing. Vision research, 2002, 42.5: 621-636.
- [7] Kennedy, Alan; Pynte, Jol. Parafoveal-on-foveal effects in normal reading. Vision research, 2005, 45.2: 153-168.
- [8] Schad, Daniel J.; Nuthmann, Antje; Engbert, Ralf. Eye movements during reading of randomly shuffled text. Vision Research, 2010, 50.23: 2600-2616.
- [9] Fernndez, Gerardo, et al. Eye movements during reading proverbs and regular sentences: The incoming word predictability effect. Language, Cognition and Neuroscience, 2014, 29.3: 260-273.
- [10] Li, Xingshan, et al. Reading is fundamentally similar across disparate writing systems: A systematic characterization of how words and characters influence eye movements in Chinese reading. Journal of Experimental Psychology: General, 2014, 143.2: 895.
- [11] Brothers, Trevor; Hoversten, Liv J.; Traxler, Matthew J. Looking back on reading ahead: No evidence for lexical parafoveal-on-foveal effects. Journal of Memory and Language, 2017, 96: 9-22.

- [12] Angele, Bernhard, et al. Corrigendum to “ Do successor effects in reading reflect lexical parafoveal processing? Evidence from corpus-based and experimental eye movement data” [J. Mem. Lang. 7980 (2015) 7696]. *Journal of Memory and Language*, 2016, 88: 133-143.
- [13] Ma, Guojie, Xingshan Li, and Keith Rayner. Word segmentation of overlapping ambiguous strings during Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2014, 40.3: 1046.
- [14] Rayner, Keith. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological bulletin*, 1998, 124.3: 372.
- [15] McConkie, George W., Michael D. Reddix, and David Zola. Perception and cognition in reading: Where is the meeting point?. *Eye movements and visual cognition*. Springer, New York, NY, 1992. p. 293-303.
- [16] Guo, T. M., Peng, D. L., Lu, C. M., and Liu, H. Y. The temporal course of semantic and phonological activation in Chinese word production: An ERP study. *Acta Psychologica Sinica*, 2005, 37(5), 569-574.
- [17] Yan Li, Muneyoshi Hyodo. Effect of Orthographic and Phonological Information in Reading Japanese and Chinese Homographs by Difference Japanese Proficiency The Japanese Psychological Association, 2017.
- [18] Braun, M., Hutzler, F., Ziegler, J. C., Dambacher, M., and Jacobs, A. M. Pseudo-homophone effects provide evidence of early lexico-phonological processing in visual word recognition. *Human Brain Mapping*, 2009, 30(7), 1977-1989.
- [19] Rika Mizuno, Takao Matsui. Influence of the Differences in Letter-Encoding Owing to Native Letters on Attentional Blink. The Japanese Psychological Association, 2008.