

学位論文

弱視のある人の読みトレーニング効果
—読み速度の向上を目指して—

広島大学大学院人間社会科学研究科

今津麻衣

序論

第1章 本研究の背景	2
第1節 視覚障害の困難	2
第1項 視覚障害の現状	2
第2項 視機能について	6
第3項 偏心度とその役割	7
第4項 眼の疾患	8
第2節 視覚障害と読み速度	10
第1項 晴眼者と弱視の人の読み研究	10
第2項 読み速度低下の原因	19
第3項 ビジュアル・スパンとクラウディング	21
第4項 読み速度向上に向けたトレーニング研究	23
第5項 日本語の読み	32
第3節 読みの概要と教育における読みの役割	35
第2章 本研究の目的と研究概要	41
第1節 本研究の構成と目的	41
第2節 本研究の方法	43
第1項 第1部について	43
第2項 第2部について	43
第1部 擬似偏心視による文字知覚の研究	
第3章 中心視と偏心視の最小認識文字サイズ（第1研究）	54
第1節 目的と仮説	54
第2節 方法	56
第1項 研究参加者	56
第2項 研究デザイン	56
第3項 刺激	57
第4項 手続き	57
第5項 装置	58
第3節 結果	59
第4節 考察	61
第1項 偏心度の影響	61
第2項 提示時間の影響	62
第3項 仮名と漢字の影響	63
第4項 まとめ	64
第4章 偏心度が文字サイズに与える影響（第2研究）	65
第1節 目的	65

第2節	方法	66
第1項	研究参加者	66
第2項	研究デザイン	66
第3項	刺激	66
第4項	手続き	67
第5項	装置	68
第6項	分析方法	68
第3節	結果	70
第4節	考察	72

第5章 偏心視の文字知覚の特徴（第3研究） 74

第1節	目的と仮説	74
第2節	方法	75
第1項	研究参加者	75
第2項	研究デザイン	75
第3項	刺激	76
第4項	手続き	77
第5項	装置	77
第6項	分析方法	79
第3節	結果	80
第1項	正答数	80
第2項	音読潜時	81
第4節	考察	83
第1項	正答数	83
第2項	音読潜時	84
第3項	まとめ	86
第5節	第1部の総合考察	87

第2部 弱視の読み速度向上に向けた読みトレーニング研究

第6章 偏心視の高校生・大学生を対象にした 読みトレーニング効果（第4研究） 89

第1節	目的	89
第2節	方法	90
第1項	研究参加者	90
第2項	研究デザイン	90
第3項	刺激と実施方法	91
第4項	手続き	93
第5項	装置	94
第3節	結果	95
第1項	トレーニング結果	95
第2項	読み速度の変化	97
第3項	アンケート結果	99

第4節	考察	101
第1項	トレーニング法の検討	101
第2項	読み速度向上に向けて	103
第7章	弱視のある成人の読みトレーニングと 読み速度に与える要因の考察（第5研究）	105
第1節	目的	105
第2節	方法	106
第1項	研究デザイン	106
第2項	実験期間と実験参加者	107
第3項	刺激と実験手続き	107
第3節	結果	112
第1項	トレーニングの提示時間推移とトレーニング効果	112
第2項	読みアンケート	114
第3項	ビジュアル・スパンと読み速度の関係	115
第4項	選好文字サイズと臨界文字サイズの比較	116
第5項	紙読みとiPad読みの文字サイズおよび読み速度の比較	118
第4節	考察	121
第1項	読みトレーニング効果	121
第2項	トレーニングに向けた読み特性	128
第3項	まとめ	129
第5節	第2部の総合考察	131
第3部 総合考察と今後の展望		
第8章	総合考察	134
第1節	本研究のまとめ	134
第2節	日本語の読みトレーニング効果	136
第3節	今後の展望	138
引用文献		1
巻末資料		10
謝辞		22

序論

第 1 章 本研究の背景

第 1 節 視覚障害の困難

第 1 項 視覚障害の現状

視覚障害とは、読書、オリエンテーションとモビリティ、その他のタスクなど、日常生活の視覚関連活動を実行する能力の障害のことであると定義されている (WHO, 2018)。障害程度分類としては、WHO (2018) の International Classification of Diseases 11th Revision (ICD-11) では視力 0.5 未満の状態を視覚障害とし、盲は視力 0.05 未満の人と定められている。そこでは、盲は光覚のない全盲だけでなく視力 0.05 未満の状態も含まれている。18 歳以上の日本で新たに視覚障害の身体障害者手帳を取得した眼疾患は、緑内障が最も多く(約 30%)、次いで網膜色素変性(約 14%)、糖尿病網膜症(約 13%)、黄斑変性(約 8%)であることが報告されている (Morizane, Morimoto, Fujiwara, Kawasaki, Yamashita, Ogura, & Shiraga, 2019)。これら上位を占める疾患は視力の低下だけでなく、視野欠損が起きる可能性がある。その身体障害者手帳取得者の年齢は約 73% が 60 歳以上を占めており (Morizane et al., 2019)、後天の眼疾患を発症し視覚障害を有する人が多いことがわかる。日本では学校教育法施行令第 22 条の 3 に規定されているように、視覚障害の程度を「両眼の矯正視力がおおむね 0.3 未満のもの又は視力以外の視機能障害が高度のもののうち、拡大鏡等の使用によっても通常の文字、図形等の視覚による認識が不可能又は著しく困難な程度のもの」とし、教育的に弱視と盲に分けることがある。盲とは触覚や聴覚などの視覚以外の感覚を活用し主に点字や音声機器を使って学習する人、弱視は主に視覚を活用して視覚補助具を使い一般的な文字(墨字)を拡大して学習する人をさすことがある (澤田, 2023)。本研究では視覚障害を視力 0.5 未満の人とし、その中でも弱視を日常的に墨字の活用をしている人とする。教育で用いられる弱視は、医療で用いられるロービジョン (low vision) と同義である。医療で一般的に弱視とよばれるアンブリオピア (amblyopia) とは異なる概念である。

弱視といっても眼疾患は多様であり、その見え方は個人差が大きく、ぼやけ、羞明など

コントラストの低下による見えにくさ、視野狭窄による視野の狭さによる見えにくさ、中心暗点（central scotoma）などによる視野の中心の見えにくさなど多岐にわたるため、弱視の人が抱える困難も多様である。アメリカで調査された視覚障害のある人が抱える問題や困難として読み（約 86%）、書き・運転（約 68%）、遠距離の視対象（約 65%）、近距離タスク（約 61%）が挙げられている（Owsley, McGwin, Lee, Wasserman, & Searcey, 2009）。読みに困難を抱える人が多く、さらに日本で視覚補助具の選定相談をしているロービジョン教室の相談内容として、第 1 位に新聞や本を読むこと、第 2 位に眩しさが挙げられており（宮崎, 2002）、視覚を活用する相談を希望する人が一定数いることがわかる。視覚障害の人が挙げる困難に読みが挙げられ、活字を読むことへの負担軽減が望まれている。

視覚障害を主な対象とする特別支援学校（以下、視覚特別支援学校）では、2020 年度に在籍していた幼児児童生徒の障害発生年齢は 3 歳以下が約 90%を占めており、先天性の疾患が多いことがわかる（柿澤, 2022）。視覚特別支援学校に在籍する児童生徒のうち約 60%が視覚補助具を使用し、そのうち約 60%の児童生徒が複数の補助具を併用して使用していることが示されている（柿澤, 2022）。このように視覚特別支援学校に在籍する人は視覚補助具を使用することが多く、自立活動の授業などで補助具の使い方や効率的な見方について学ぶことがある。自立活動では、児童生徒自身が見え方を把握し、見やすい環境を整えることを狙いとし、点字指導、パソコン指導、弱視レンズ指導、読み書き指導を行うことが多い。幼児児童生徒の実態に合わせ、弱視レンズ指導では拡大鏡などの光学的な視覚補助具の扱い方、読み書き指導では拡大読書器やタブレットなどの電子的拡大法を用いた視覚補助具の扱い方を学ぶことがある。児童生徒を対象に、拡大鏡、単眼鏡、拡大読書器、タブレットなどの視覚補助具の使い分けの指導における研究も進んでいる（佐野・氏間, 2019; 相羽・渡辺・奈良, 2021）。2001 年に視覚特別支援学校（当時、盲学校）の中・高等部で調査された自立活動の指導内容としてはパソコン指導が約 60%を占めており、次いで漢字指導が約 29%であった（三浦・小林, 2004）。教員に単一弱視生徒が社会生活上困難を感じると思うことの第 3 位に文字の読み書きが挙げられているものの、単一弱視生徒の自

立活動で読字・書字指導は4%に留まっている(三浦・小林, 2004)。先行研究から20年以上経過しているため、現在の視覚特別支援学校の状況が反映されているとは言い難いが、教育における視覚補助具の使用は主に、見えにくい文字を読めること、少ない負担で文字が書けることが目標にされてきており、読み書き能力向上は視覚障害教育において依然として重要な課題であることは想像できる。

中途視覚障害のある人々は視機能の回復を目指し、リハビリテーションをすることがある。Carroll (1961) は失明者の喪失についてまとめ、20個の喪失 (Table 1-1) 一つ一つが深刻で複雑に関わり、心理的安定の回復が大切だと述べている。書物が書かれた頃、光が全く見えない人だけでなく、遠くのものが見えない、光の眩しさを感じるなどをまとめて失明と定義されていたようである。上田 (1983) はリハビリテーションの4つのアプローチを併行して進めることを目指しており機能回復を目指す治療アプローチ、補助具の使用などの適応アプローチ、就職や教育など各分野が相互に関わる環境改善アプローチや絶望ではなく希望を取り戻す心理的アプローチを提唱している (Table 1-2)。Flom (1963) は眼鏡を矯正しただけで問題が解決することはなく、読み書きの課題について専門家との相談が必要であることを記している。このように、身体的にも心理的にも日常生活が過ごしやすくなるようなアプローチが昔から行われている。教育でも同じように、学びやすくなるための有効な介入を行う必要があるはずだ。

Table 1-1 失明者の 20 の損失 (Carroll (1961)より 著者が編集)

心理的安定に関連する基本的な喪失	身体的な完全さの喪失 残存感覚に対する自信の喪失 環境との現実的な接触能力の喪失 視覚的背景の喪失 光の喪失
基礎的技術の喪失	移動能力の喪失 日常生活技術の喪失
意思伝達能力の喪失	文書による意思伝達能力の喪失 会話による意思伝達能力の喪失 情報とその動きを知る力の喪失
鑑賞力の喪失	楽しみを感じる力の喪失 美の鑑賞力の喪失
職業、経済的安定に関する喪失	レクリエーションの喪失 経験、就職の機会等の損失 経済的安定の喪失
結果としての全人格に生じる喪失	独立心の喪失 人並みの社会的存在であることの喪失 目立たない存在であることの喪失 自己評価の損失 全人格構造の損失

Table 1-2 リハビリテーションの基本的アプローチ (上田 (1983)より 著者が編集)

機能・形態障害に対して治療的アプローチ	麻痺、失調症、その他の運動障害の回復促進 二次的合併症の予防と治療 失語・失行・失認などの高次脳機能障害の回復促進
能力障害に対して適応的アプローチ	健常残存筋肉の強化 義肢・装具・杖・車椅子などの補助具の処方 日常生活動作 (ADL) 能力の向上
社会的不利に対して 環境改善・改革的アプローチ	住居と社会環境の改造 家族への働きかけと介護者の確保 職業復帰の促進、教育の場の確保、生きがいのある生活、所得保障
心理的問題に対して心理的アプローチ	心理的サポート 障害の受容と克服の促進

第2項 視機能について

視覚認知は人にとって主要な感覚である。視覚情報処理では、光が角膜や水晶体を通り、網膜に入った視覚刺激は外側膝状体（LGN：lateral geniculate nucleus）を経て、一次視覚野（V1：primary visual cortex）で処理される。網膜は錐体細胞（Cone cell）と桿体細胞（Rod cell）の2種類の視細胞で構成されている。視細胞はその後、電気信号が神経節細胞、視神経を通り脳に送られる。情報伝達は大きい受容野をもつ大細胞系（Magnocellular pathway）、小さい受容野をもつ小細胞系（Parvocellular pathway）で構成され、それぞれ物体の動きや位置、物体の色や質感に関する情報を担っている（花沢, 2007）。初期視覚野から各高次視覚領域への情報の流れは大きく分けて腹側路と背側路の2つ存在する。視覚情報は V1 から2次視覚野（V2）に情報が伝わった後、4次視覚野（V4）から下側頭野（IT：inferior temporal）へと向かい物体のテクスチャ情報を抽出する腹側経路（ventral pathway）と、内側側頭（MT：medial temporal）・内側上側頭（MST：medial superior temporal）野へと向かって物体の運動情報を抽出する背側経路（dorsal pathway）に分かれる（花沢, 2007）。腹側経路は色や形など物体の静的な特徴の処理に、背側経路は空間位置や動きなど物体の動的な特徴の処理に関係しているとされている（花沢, 2007）。Fig. 1-1 に視覚情報の流れを図示した。

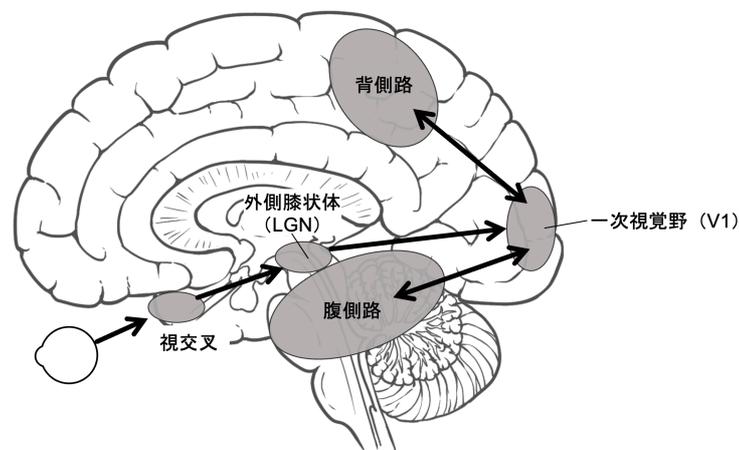


Fig. 1-1 視覚経路

第3項 偏心度とその役割

網膜には視細胞があり、特に視細胞の密度が高い場所を黄斑 (macular) とよび、最も高密度の場所を中心窩 (fovea) とよんでいる。中心視 (central vision) は、眼球運動により視線が向く方向を中心として、中心窩とよばれる網膜中心部とその近傍での処理である(横澤, 2010)。偏心視 (peripheral vision) とはそれ以外の網膜周辺部の処理を指す。解像度は中心視と偏心視では異なり、その違いは網膜の桿体細胞と錐体細胞の分布の差である。錐体細胞には L 錐体 (Long-wavelength-sensitive cone)、M 錐体 (Middle-wavelength-sensitive cone)、S 錐体 (Short-wavelength-sensitive cone) の3種類があり、この出力差から色彩を区別している。錐体細胞は片眼で約 600 万個あり、中心窩の分布密度が大きく、周辺ほど小さくなる。桿体細胞は中心窩には存在せず、偏心 20° 付近で最も密度分布が大きくなり、それより周辺で密度分布は小さくなる。桿体細胞はわずかな明るさにも反応するため、暗所視で見ることに適している。桿体細胞は色の識別はできず、偏心視では色の認識が不得意とされる。

網膜偏心度 (retinal eccentricity) は、中心窩からの網膜上の距離のことであり、視角 (visual angle) で表されることが多い。通常、中心視が最も視力が高く、偏心度が大きくなるほど視力が低下することが知られている。これは網膜感度からも明らかである。1文字や単語は偏心度が大きくなるほど大きい文字サイズが必要であることが示されている (Abdelnour & Kallpniatis, 2001; Anstis, 1974; Kondo, Nakamizo, & Araragi, 2008)。Anstis (1974) は偏心度と視力の関係をアルファベットの文字の大きさを表した等可読度チャートを提案し、その図は中心視と偏心視で同程度の視認性になるよう作られている。偏心視を体感する手軽なチャートとして知られている (Fig. 1-2)。中央の点を固視することで、網膜の偏心度に応じた知覚可能な文字サイズで示されているため、等しく知覚できるように図示されている。同様に仮名でも偏心視の異方向性 (anisotropy; 水平および垂直の周辺視力差) を考慮した等可読度チャートが考案されている (Kondo et al., 2008) (Fig. 1-2)。

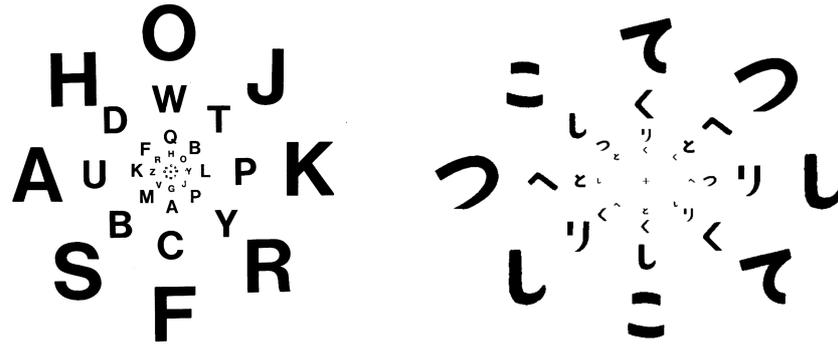


Fig. 1-2 等可読度チャート (左 : Anstis, 1974、右 : Kondo et al., 2008)

第 4 項 眼の疾患

弱視の中には、低視力だけでなく視野が周辺部から狭小することや、視野の中心部が見えなくなることがある。特に本研究では偏心視について扱うことが多いため、偏心視になる可能性のある代表的な疾患について概観する。緑内障とは眼圧の異常上昇が特徴である。房水が過剰に産生されることや、房水の排出の妨げがあると眼圧は高くなる (Sardegna, Shelly, Rutzen, & Steidle, 2002)。眼圧が上がり視神経が萎縮すると視野が狭くなり、黄斑部視野が消滅することがある (菅, 2000)。網膜色素変性症は眼の網膜の変性を引き起こす遺伝性疾患であり、最初に桿体細胞を侵して周辺視が見えなくなり、疾患が進行すると、錐体細胞が侵され失明することがある (Sardegna et al., 2002)。網膜色素変性の症状は薄暗い所で見るのが困難になる夜盲と視野欠損、水晶体の混濁が進行することがある (Sardegna et al., 2002)。糖尿病網膜症は、糖尿病により起こり網膜の毛細血管から出血が起こり視覚に障害が起きる (Sardegna et al., 2002)。黄斑疾患は黄斑の機能低下を引き起こし、中心視が欠損する (Sardegna et al., 2002)。黄斑疾患は黄斑ジストロフィーと加齢黄斑変性の2つのタイプがあり、黄斑ジストロフィーは20歳前に発病し、加齢黄斑変性は概ね60歳以上で発病することが多い。

疾病によっては網膜上に暗点 (scotoma) が出現することがある。暗点とは視野内の視覚が遮断された領域のことである (Sardegna et al., 2002)。晴眼の片眼にも1つの暗点があり、マリオット盲点とよばれている桿体と錐体は存在せず光を感じない部位が存在する (菅,

2000)。暗点が周辺にできた場合、視野狭窄となり中心は見えるが周辺は見えない状態となる。一方、暗点が中心にできた場合は中心暗点とよばれ、中心は見えず周辺視が見え、偏心視となる。

第2節 視覚障害と読み速度

第1項 晴眼者と弱視の人の読み研究

1. 読み速度と文字サイズの測り方

さまざまな見えの困難が読みに与える影響を調べるのが 1980 年代から続く研究テーマの一つであり、読み速度を従属変数にすることが多い。読み速度は読みに困難のある弱視の人にとって機能的に重要な尺度であり、読み速度は書かれた単語の認識と短い時間の連続刺激の処理の2つの特性を表している (Legge, 2007)。読み速度の測り方は数種類あり、よく用いられるものとして、文字が右から左に動くドリフトテキスト (drift text)、単語が一定時間・一定場所に提示される RSVP (Rapid Serial Visual Presentation)、単語が参加者の時間操作で一定場所に提示される ESP (Elicited Sequential Presentation)、RSVP と違い文が静的 (static) に提示されるフラッシュカード (flush card)、200 単語程度の文章を静的に提示するページリーディング (page reading) またはパッセージリーディング (passage reading) がある。

ドリフトテキストを用いた読み研究として Legge, Pelli, Rubin, and Schleske (1985a) は、テレビにカメラが付いた装置を使い、刺激文字が書かれたカードをカメラ下に置きテレビに文字を映した。刺激カードはモーターで右から左に動かし、移動速度は一定に制御された。この刺激提示は光学的な視覚補助具の代表である拡大読書器 (Video Magnifiers や CCTV: closed-circuit TV magnifier) で文字を読む際の画面の動きに似ていることが特徴である。Legge et al. (1985a) は当時 scanned text とよんでいたが、のちにドリフトテキストと表現している。刺激は1行テキストで、右から左へ一定の速度で移動させ、参加者に音読をしてもらう。研究者は参加者が読み上げた文字の正誤を記録する。テキストを動かす速度を1分間に動く文字数 (wpm: words per minute) であるドリフト速度 (drift rate) と定めており、ドリフト速度と正しくよめた文字の割合である正答率から読み速度を求め、ドリフト速度と読み速度が急激に変化する点を最大読み速度と定めている (Legge, 2007)。つまり、ドリフト速度×正しく読めた単語率が読み速度となり、ドリフト速度と読み速度が一

致する最も速い速度が最大読み速度になる。読み速度にはドリフト速度と正答率の両方が考慮され、トレードオフの問題を回避することができる (Legge, 2007)。ドリフトテキストの利点として、モニターなどの画面の制限がないため、大きい文字サイズで表示できることが挙げられ、読み速度と文字サイズの関係性を明らかにするために、よく使用された手法である。ドリフトテキストは弱視の人が拡大読書器の画面全体で読み材料を動かす時の読み方に似ているという特徴がある。

RSVP は文を一単語ずつ、モニターの同じ場所に瞬間提示し、参加者に音読をしてもらう手法である。全単語を一定時間の瞬間提示するため、研究者が提示時間を設定でき、参加者に応じて変更することができる。研究者は参加者が読み上げた文字の正誤を記録する。正答率と提示時間を心理物理関数に適合させ、正答率 80% を基準にして読み速度を算出する (例えば、Chung, Mansfield, & Legge, 1998)。設定した文字サイズごとに読み速度を求め、文字サイズと読み速度の関係から最大読み速度 (MRS: Maximum Reading Speed) と臨界文字サイズ (CPS: Critical Reading Speed) を求める。臨界文字サイズとは、最大読み速度を達成することができる最小の文字サイズのことである。最大読み速度はドリフトテキストと同様に単位は wpm である。RSVP の利点としては、非常に大きな文字を表示できること、提示時間を研究者がコントロールすることができること、少ない眼球運動で読めるため読みの視覚的要因によるパフォーマンスを測れることが挙げられる (Legge, 2007)。

ESP は RSVP のように単語を提示するが、参加者がキーを押すことにより単語の提示を行うことができる。弱視の人にとって、語長や単語の難易度により各単語にかかる処理時間は異なると考えた Arditi (1999) の研究で用いられた手法である。RSVP と同様に 1 分間あたりの単語数を算出する。

フラッシュカードは印刷された紙媒体またはモニターに表示された文字を音読する手法である。ドリフトテキストや RSVP などは文字の移動や瞬間提示を伴うため動的であるがフラッシュカードは文字が動くことのない静的なテキストである。研究者は読み間違いを記録し、1 分間あたりの単語数または文字数を計算する。フラッシュカードの中でもよく

使用される MNREAD (University of Minnesota, 2022) は文字サイズが読み速度に与える影響を評価するものである。大きい文字サイズから参加者が読めなくなるまでの小さい文字サイズで文を読むことで、文字サイズと各読み速度のデータを指数関数などに適合させ、読書視力 (reading acuity)、最大読み速度、臨界文字サイズの 3 つの尺度を得る。臨界文字サイズは最大読み速度の 80% に相当する読み速度が達成される文字サイズとして定義されることがある (Cheong, Legge, Lawrence, Cheung, & Ruff, 2007; Cheong, Legge, Lawrence, Cheung, & Ruff, 2008; Chung, 2007; 2021)。フラッシュカードの読みは RSVP などと比べ自然な読みができることであるが、視距離を固定することはあまり日常生活でみられない点である。MNREAD のような読みチャートはいくつか開発されており、Radner (2017) は ICO (the International Council of Ophthalmology) や EN ISO 8596 に基づいた読み能力を測るチャート 6 個についてレビューし、多くの言語で利用でき、読み能力を比較することができることを利点として挙げているが、そのうち日本語版が開発されているのは MNREAD のみである。MNREAD はチャートやアプリが必要であるが、RSVP や ESP は実験者が目的により用意した文章を使用することができることが特徴である。

最後にページリーディングまたはパッセージリーディングは、100 語程度の文章を提示し、口頭で読んでもらう方法である。読み間違いを除き、1 分間に読める文字数を算出する。文字サイズを研究者が設定する必要がある、RSVP などと求めた臨界文字サイズから決定することがある (Chung, 2021)。

このように弱視の読み研究をする際には音読課題を用いることが多い。音読を課す理由として提示された刺激文の読みの正確性を判断するためであると考えられる。さらに読み速度は文字サイズと合わせて求められることが多く、本研究では読み速度向上の可能性だけでなく、iPad と紙といった読みの環境変数が読みパフォーマンスに与える影響にも注目した。弱視の状態は眼からの文字情報取得に困難を抱えており、それよりも高次の処理は統制されていると考えた。つまり読み速度である 1 分間あたりの文字数 (単語数) は全て同じであり統制されている。環境の変更がパフォーマンスにどう影響を及ぼすかを検討す

ることとした。

最後に最大読み速度および臨界文字サイズの求め方の一例を示す。RSVP では最小文字サイズから臨界文字サイズまでの読み速度上昇を表す直線と最大読み速度を表す直線の2直線を引く two fitted lines を使用することがある (Chung et al., 1998)。最大読み速度の直線は傾きを0に固定することがあり、設定した最小の文字サイズから臨界文字サイズまでの傾きは固定せず参加者ごとに傾きを変える場合がある (Chung, 2011 など)。参加者1人の読みを表すグラフは Fig. 1-3 のようになる。

研究で扱う文字サイズは RSVP または MNREAD の読み速度から算出した臨界文字サイズを起点とすることがあるが (Chung, 2021; Yu, Legge, Wagoner, & Chung, 2018)、臨界文字サイズを求めるには様々な大きさの文字を音読する必要があることや、研究者が臨界文字サイズや最大読み速度を分析ソフトなどの使用により計算する必要があり結果の算出までに時間を要する。そこで、より簡単に臨界文字サイズと同等の大きさを算出できる方法を探る研究が行われている。Latham and Macnaughton (2022) は参加者に快適に読める最小の文字サイズ (以下、CfPS: comfortable print size) を選択してもらおうと臨界文字サイズと同程度の大きさになることを支持している。さらに Latham, Subhi, and Shaw (2023) は CfPS に再現性があることを確認している。これらは最近取り組まれている研究であり、MNREAD の臨界文字サイズと比較しているため RSVP などから算出した臨界文字サイズと CfPS の比較や日本語を用いた研究が課題として挙げられる。

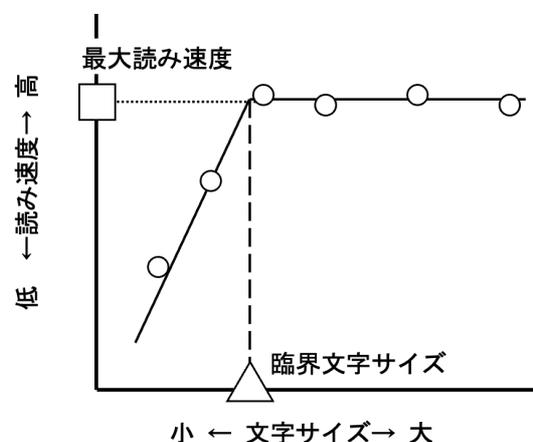


Fig. 1-3 読み速度と文字サイズの一例 (two fitted line)

2. 弱視状態が読み速度に与える影響

Horowitz-Kraus, Schmitz, Hutton, and Schumacher (2016) は読みスキルに影響を与える言語・認知・読み書き能力 (Literacy) の発達をまとめている。その3～4歳段階の項目である色や形を合わせることは視覚を活用する必要があるため、弱視のある子供は晴眼児より遅れる可能性がある。これは見えの困難から運動や認知発達が遅れることをレビューした Warren (1984) と同様に弱視の状態が読み困難を及ぼす可能性を示唆している。日本の児童でも絵本を通して獲得される視経験は、晴眼児より弱視児が遅れることが示されており (伊藤, 1976)、見えにくいことから認知の差が現れている。障害を有さない2～8歳の子供と5～12歳の知的障害児および弱視児の形体知覚について研究した結果、視経験が少ない図形は弱視児が著しく正答率が低いことが明らかにされている (五十嵐, 1971)。このように弱視がある場合、晴眼者より年齢を重ねても必ずしも晴眼者と同程度の知覚ができるわけではない可能性がある。文字を見る経験は、弱視の子供は晴眼の子供より少ないと考えられ、その経験の差から文字知覚の発達も晴眼より弱視の方が遅い可能性があると考えられる。つまり、文字を1文字ずつ逐次的に変換する処理から単語全体から語彙的に処理する能力の発達が晴眼者より遅い可能性がある。

先に述べたように弱視の見え方はさまざまであり、読み速度に与える影響が大きいのは、暗点の有無やその所在、視野の欠け方、透光体の有無が挙げられている (Legge, Rubin, Pelli, & Schleske, 1985b)。例えば網膜の中心に暗点がある場合、偏心視となる。偏心視は中心窩以外の網膜部位で見えており、PRL (preferred retinal locus) とよばれ、好んで固視をする網膜領域が存在することがある。このPRLは自然に獲得される場合もあるが、偏心視トレーニングなどにより効果的なPRLの獲得を行うことで読み速度が速くなる場合もある (三輪, 2010)。そのほか、屈折異常と中間透光体混濁の有無によって効率よく線を認知できる線幅は3倍の差があることが示されている (小林, 1997)。このように、一括りに弱視といっても見え方は多様であるため、見え方や視力と読みや顔の認識といった日常生活のパフォーマンスとの関係についての基礎的研究が行われている。

読みに関する研究は 1980 年代から特に盛んに取り組まれるようになった。例えば、Legge et al. (1985b) は透光体混濁や視野欠損のある弱視の参加者の読み速度を測り、弱視の状態の中でも読み速度にばらつきがあり、中心視野の有無と透光体混濁の有無が読み速度に影響を与えていることを明らかにしている。これらの研究をはじめ、読み材料のさまざまな環境要因が読みやすさや読み速度などに与える影響を明らかにする研究が行われるようになった。

1 つ目の環境要因として文字サイズに着目した研究がある。まず、晴眼者の読みについて研究した Legge et al. (1985a) は文字サイズが読み速度に与える影響を調べ、晴眼状態では $0.3^{\circ} \sim 2^{\circ}$ で最大の読み速度 (maximum reading rate) を達成することができることを発見した。続いて弱視と晴眼の読みを比較した Legge et al. (1985b) は、最も速い速度 (peak reading rate) を達成できる文字サイズは弱視の中で差が大きく、 $0.2^{\circ} \sim 24^{\circ}$ であることを示した。特に中心視野の有無が文字サイズに影響を与えており、中心視野が活用できる弱視の人は $0.2^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 、中心視野が活用できない人は $12^{\circ} \sim 24^{\circ}$ と大きい文字サイズが必要であることがわかる (Legge et al., 1985b)。晴眼者が最大の読み速度を達成できる文字サイズは約 0.4° であり (Legge et al., 1985a)、弱視の人は晴眼者と同程度の文字サイズから約 7 倍以上の文字サイズが必要である (Legge et al., 1985b)。また晴眼者の擬似偏心視で RSVP 読み速度を測った結果、偏心度が大きいほど最大読み速度は低下し、臨界文字サイズは大きくなることが示されている (Chung et al., 1998)。文字サイズと読み速度の関係は偏心度に関わらず同様であり、文字サイズが小さすぎると読み速度は低下し、臨界文字サイズより大きい文字サイズでは読み速度が概ね一定であることが示されている (Chung et al., 1998)。偏心視での文字サイズと読み速度の関係を韓国語で研究した He, Bask, and Legge (2018a) は偏心 10° で英語より最大読み速度が低下し臨界文字サイズも大きくなることを明らかにした。この原因として英語より韓国語が複雑であることを挙げている。これらの研究から弱視にとって文字サイズの拡大は重要であるが、それだけでは晴眼者と同程度の読み速度に至らないことがわかる。

日本語でも晴眼者の文字サイズと読みやすさの研究は進められている。阿久津・近藤 (2010) が晴眼者は、視角 0.55° ~ 0.92° の文字サイズで読み速度が安定し、主観的に読みやすいと感じる大きさであると結論付けている。文字サイズが大きくなるほど読みやすさの主観評価は向上するが、大きすぎる文字サイズ (約 1.4°) では主観評価は下降することが示された (阿久津・近藤, 2010)。液晶ディスプレイで主観的に読みやすいと感じる文字サイズを調べた研究では、晴眼者は視角 $33'$ (約 0.5°) 程度で読みやすいと感じることを明らかにした (井戸・林・宮木・原田, 2002)。さらに窪田・松戸・丸本 (1999) は読みやすいと感じる文字サイズは輝度を調整し、高齢者 (59~79 歳) も若者 (20~26 歳) も同程度の約 $30'$ (約 0.5°) であり、高齢者が若者と同程度の見やすさを確保するには、若者の約 2 倍の輝度が必要であるとまとめている。自由視距離で iPod touch に表示された文章を読んだ場合の主観的に読みやすい文字サイズは、約 $30'$ (約 0.5°) だと述べられており (平野, 2009)、視距離に関わらず晴眼者は約 0.5° の文字サイズで主観評価が高い。晴眼者では約 $30'$ (約 0.5°) が読みやすいと感じることがわかる。文字サイズと読み速度については、三輪・林・菅野・久保・石田・築島 (1998) が 20~50 代の晴眼者に 12 ポイントと 22 ポイントの速度に有意差があることを報告しており、文字サイズが速度に影響を与えることが示されている。三輪ら (1998) の研究では文字サイズが視角で表されていないため先行研究と比較することは難しいが、Legge et al. (1985a) のように日本語でも大きすぎる文字サイズは速度を低下させることが明らかになった。

2 つ目に文字の太さや間隔およびフォントを要因にした研究がある。文字の太さを要因に RSVP 読み速度を測った結果、晴眼者の中心視では極細と極太の太さの文字で速度が低下し、晴眼者の擬似偏心 10° では太字で速度が低下することが示された (Bernard, Kumar, Junge, & Chung, 2013)。この研究結果を踏まえ、太さを変えたら速度向上の可能性があるのか調べた Chung and Bernard (2018) は中心暗点を有する弱視の人は文字の太さを変更しても読み速度の向上は見込めないことを示している。これらの研究により文字を太くすることが劇的に速度向上には至らないことがわかる。文字の間隔と読み速度の関係について、

Chung (2002) は晴眼者の擬似偏心視では文字の間隔による利得はなく、標準間隔が最も速いことを発見した。これはクラウディング (Crowding) とよばれる文字間の混み合いのものが影響していると考えられている。クラウディングとは、例えば3文字のうち中央の文字を認識しようとした場合に両端の干渉効果のことを指す (Legge, 2007)。そのほか、ビジュアル・スパン (Visual Span) とよばれる眼を動かさずに認識できる文字数 (Legge, Mansfield, & Chung, 2001) が関係していると考えられている。文字の間隔を広げるとクラウディング効果が減少するが単語の形状 (word-shape) の捉えにくさやビジュアル・スパンの減少があり、間隔が広いことにより利益が打ち消された可能性がある。ビジュアル・スパンは眼を動かさずに正確に認識できる文字数のことである (Legge et al., 2001)。さらに Chung (2004) は垂直方向の文字間隔 (行間隔に類似) が読み速度に与える影響について研究し、間隔を広げると読み速度は速くなり、特に偏心視でその効果が確認されることを示した。しかし、1単語のみ提示された場合の読み速度と同等の速さを達成するためには、中心視は 1.2~1.5 倍の間隔が必要なのに対し偏心視 (5° や 10°) では推定 3.2~3.9 倍の間隔が必要であることが示唆された (Chung, 2004)。文字間隔の利点は少ないが、行間隔は広い方が読み速度向上の可能性があることがわかる。日本語の文字の太さが認知に与える影響を異同判断課題で調べた結果、文字の太さが与える影響は小さいことが示されている (長谷川・久野, 2017)。文字の太さと記憶のしやすさについて行われた研究では、記憶対象の太さは記憶効果に影響を与えないことが示唆されており (山崎・伊藤・濱野・中村・掛・石丸, 2020)、日本語でも太さが読みに与える影響は小さいことが考えられる。

読みやすいフォントに関して欧米でも研究が続けられており、黄斑症の読み研究に関わるレビュー論文でもフォントが読み速度に与える影響をまとめられている (Chung, 2020)。フォントはアルファベットではセリフの有無や日本語では“山”の有無など言語の書体差が出やすいと考えられるため、ここでは日本語のみを取り扱った。文字のフォントに関して、野村・大山・迫 (2014) は日常生活で目にする機会の多い明朝体やゴシック体より行書体が文字列の形態符号化・音韻符号化の処理時間を増加させると考察しており、フォン

トが処理に影響を与える可能性について指摘している。他の研究では、ゴシック体が明朝体などに比べて視認しやすいことが示されており文字のフォントは視認性に影響を与えることが示唆されている（遠藤, 2015）。文字の認知だけでなく明朝体とゴシック体には文字の太さが与える印象が異なり、例えば明朝体はレギュラーの太さで柔らかい印象を持つ人が多く、文字の太さにそれぞれ特徴的な印象があることがわかる（李・崔・小山・日比野, 2016）。文章の理解について明朝体よりゴシック体の理解度が有意に高く、紙とディスプレイといった異なる表示媒体では理解度に差がでることが示されている（清原・中山・木村・清水・清水, 2003）。フォントに関してはさまざまな研究がなされているが、まとめるとゴシック体が見やすい傾向にあることがわかる。これらのように日本語のフォントは読みやすさや印象に影響を与えていることがわかる。

3つ目にコントラストや照度、視野に入る文字数であるウインドウサイズなどが挙げられる。ここで言うコントラストは輝度コントラスト（luminance contrast）を表し、文字の輝度と背景の輝度からマイケルソン・コントラスト（michelson contrast）を計算して求める。晴眼でも弱視でもコントラストは読み速度に影響を与えることが示されており、弱視では特に透光体混濁や視野欠損によるコントラスト低下（contrast attenuation）が読みを制限する要因になることが示されている（Legge, Rubin, & Luebker, 1987; Rubin & Legge, 1989）。晴眼者にコントラストを変えて MNREAD 読み速度を測った結果、最大読み速度に変化はないがコントラストが低下するほど臨界文字サイズが大きくなることが示されている（Fujita, Oda, Watanabe, & Yuzawa, 2008）。さらに応用した研究では、輝度コントラストが低下するほど臨界文字サイズは線形に大きくなることが示されている（Ohnishi, Otsukuni, Takahashi, Sugiyama, Hirakimoto, Ogawa, Suzuki, Oshima, Sheu, & Oda, 2020）。コントラストは読み速度に影響を及ぼす要因であり、晴眼者では特に臨界文字サイズに影響を与え、弱視の人はコントラスト感度が読み速度に影響を与えていることがわかる。

視野に入る文字数を操作した場合、晴眼でも弱視でも4アルファベットまでは読み速度は向上し、それ以上は一定になることが示されている（Legge et al., 1985a; Legge et al.,

1985b)。晴眼者の仮名单語のスクロールで実験した結果、単語の幅と文字数が最大読み速度を達成できる文字サイズに影響を与えている可能性が示唆されている (Teramoto, Nakazaki, Sekiyama, & Mori, 2016)。Chung et al. (1998) や Fujita et al. (2008) といった先行研究では文字サイズと読み速度の関係を調べる方法としては RSVP や MNREAD があり、ある程度、刺激の文字数が揃えられてきた。しかし、Teramoto et al. (2016) は単語幅や文字数が臨界文字サイズに影響を及ぼす可能性を示唆しており、読み速度の測り方は多数の要因が複雑に関係していることがわかる。読みの研究は多方面から進められており、読み環境が読み速度の要因になることが明らかにされている。つまり、読み研究ではさまざまな条件の設定が重要になる。

第 2 項 読み速度低下の原因

視機能の状態が読み速度の低下に与える影響はいくつかの見え方において検証されてきている。例えば、ぼやけ (blur) の強度が読み速度の低下に影響する研究 (Chung, Jarvis, & Cheung, 2007) や水晶体の濁りの有無や中心暗点の有無が読み速度に与える影響に関する研究 (Legge et al., 1985b) などはその先駆けである。特に、偏心視における読みの研究は現在でも世界中で広く行われており、読み速度の現状や低下の理由が探られている。

例えば、文字認識と読み速度の関係を中心視と偏心視の点から検討した研究では、偏心度が大きくなるほどビジュアル・スパンは小さくなり、中心視は偏心 15° より約 5.8 倍大きいことが示されている (Legge et al., 2001)。刺激 3 文字を瞬間提示させたときの提示時間が長くなるほど、正答率と刺激文字例の中の文字位置 (Letter Positions) から作成されるビジュアル・スパン の大きさ (Visual Span Profiles) は大きくなることが示された (Legge et al., 2001)。ビジュアル・スパンが大きいとは正確に文字を伝達できていることをさしている。偏心視より中心視の方が情報伝達は速く行われ、偏心視でも提示時間が長くなるほど、多くの情報を伝達できるが、中心視よりは少ないことが明らかにされている (Legge et al., 2001)。網膜位置、提示時間、文字位置は文字認識の精度に影響し、ビジュアル・スパン

ンより文字数が多い単語は推論を使用し、その都度エラー修正をしなくてはならないため読み速度は低下すると考えられている。さらに Crossland and Rubin (2006) は黄斑症の人にとって知覚スパン (Perceptual Span) と読み速度は相関があり、読み速度の変化に知覚スパンの変化が関係していることを示している。知覚スパンとは、停留中にどれだけ文字情報を取り込めるかという window 幅のことである (McConkie & Rayner, 1975)。

これらの偏心視における読み速度低下の原因に着目した研究と並んで読みプロセスの一部に着目した研究も行われてきた。中心視と偏心視での文字処理の類似点に関する研究がその一つである。Lee, Legge, and Ortiz (2003) は偏心視の文字処理の性質について明らかにするために、単語頻度、提示時間、文字数を従属変数として中心視と偏心視で単語および非語を提示し、単語か非語かどうかの正解率を測った。その結果、高頻度または長い文字数で正解率は高く、提示時間が長くなるほど正解率は向上した。提示時間ごとの正解率から中心視より偏心視の方が文字処理は遅いことが明らかにされた。中心視と偏心視の単語頻度差異による正解率は類似していたため、文字処理は類似していると考えられている。中心視と偏心視の文字処理過程をさらに精緻に検証するために、Xiong, Qiao, and Legge (2019) はアルファベットで構成される単語の語頭・語中・語尾のいずれかを細工した単語 (転置単語、例えば reading を readng) を RSVP の提示文の中に紛れ込ませた文章を中心視と偏心視で音読させた。その結果、中心視と偏心視は同様の語彙アクセスをしており、単語の語頭および語尾は語中より文字処理上重要な役割を担っていることを示唆した。中心視は視力も高く、ビジュアル・スパンも大きく、混み合っている語中も高い認識を維持することができるが、偏心視では語中の正答率が下がることが予想できる。文字処理の性質は類似していたとしても、文字認知の点で中心視と偏心視は差異があると考えられることができる。これらの研究はアルファベット圏での知見であるため、複数の文字セットを持つ日本語での検討が待たれる。平仮名やカタカナのようにアルファベットに近い表音文字セットではアルファベットを刺激にした知見が援用できる可能性が高いのに対し、表意文字セットである漢字の文字認識はそれとは遠い可能性がある。

読み研究では文字処理の他に文字そのものが要因とされることがある。文字自体の構造的な複雑さや行間隔、文字間隔などがそれである。クラウドイングといった主には文字と文字の間隔および文字の構造の線分同士の間隔に関する研究も数多く行われている。Chung (2013) はターゲット文字の上下または左右または斜めに配置した臨界文字間隔を調べた結果、黄斑変性は同心円状に広がるが、晴眼者の擬似偏心視では楕円状であることを確認した。晴眼者から黄斑変性の臨界文字間隔を完全に推定することは難しいが、偏心度が大きくなるほど臨界文字間隔も大きくなることが明らかにされた。つまり偏心視はクラウドイングの影響が大きいことがわかる。一方、加齢黄斑変性患者にアルファベットの太さを変えて提示しても読み速度は有意に変化せず、文字の太さは読み速度に影響を与えないことが明らかにされている (Chung & Bernard, 2018)。これらの研究から偏心視ではアルファベットだと文字の太さは読み速度にほとんど影響を与えないことが示された。

読み速度低下の原因として、偏心度が大きくなるほどビジュアル・スパンが狭小し一度に認識できる文字数の減少、臨界文字間隔の拡大が挙げられている。しかし、日本語で偏心視のビジュアル・スパンや文字認識については検討の余地がある。日本語のビジュアル・スパンの大きさや間隔と読み速度の関係等の基礎的研究が必要である。Chung (2013) は文字の太さは読み速度の要因として挙げていないが、この研究はアルファベットで行われたため、日本語に汎用させた検討が必要である。アルファベットではセリフや文字の太さは読み速度に影響していないが、混み合いが読み速度に抑制的に影響を与えている。しかし、日本語はアルファベットと比較して一般的に空間周波数の高い漢字の存在により、アルファベットの知見のみで日本語の偏心視の読み特性を説明することは困難であり、日本語での研究が求められる。

第3項 ビジュアル・スパンとクラウドイング

人が文字を読むとき、ページ全体を同時に見ているのではなく、眼をほとんど動かさずに文字情報の取得を行う停留 (fixation) と短く素早い動きであるサッケード (saccade) が

繰り返されている。各停留で数文字ずつ文字を認識していることが知られている。同時に認識できる文字数が読み速度に影響を与えている。弱視のある人は解像度の低下によりビジュアル・スパンの狭小、つまり停留ごとに認識する文字数が少なくなり、ビジュアル・スパンが読み速度のボトルネックになることが考えられている (Legge, Cheung, Yu, Chung, Lee, & Owens, 2007)。ビジュアル・スパンの測定は (1) 眼球運動の影響を可能な限り排除する、(2) 語句推論に依存しないという 2 つの条件下で行われることが多い。ビジュアル・スパンの測定は文字認識自体を測定し、無意味綴りであるため単語の推測による個人差の影響を最小限に抑えながら測られる。2000 年以降、ビジュアル・スパンは瞬間提示されるトリグラム刺激を使用することが多く、英語のみでなく中国語や韓国語などさまざまな言語で読みとの関係について研究されている (He, Kwon, & Legge, 2018b; Wang, He, & Legge, 2014)。Legge et al. (2001) はビジュアル・スパンが読み速度に影響を与えることを示唆しており、Kwon, Legge, and Dubbels (2007) は晴眼の 3・5・7 年生と大学生にビジュアル・スパンと読み速度を測定したところ、年齢に応じてビジュアル・スパンは向上し、読み速度に影響を与えることを示している。ビジュアル・スパンが大きいということは 1 回の停留で多くの情報を取得でき、読み手はより長いサッケードを実施できる可能性がある。ビジュアル・スパンと読み速度に関係があることから、弱視の読み速度向上を目的とした読みトレーニング研究の効果を確認する指標として測定されることがある (Chung, Legge, & Cheung, 2004; He et al., 2018b; Yu, Cheung, Legge, & Chung, 2010a; Yu, Legge, Park, Gage, & Chung, 2010b)。まず、読み速度とビジュアル・スパンの関係を探る研究が取り組まれた。その結果、偏心視の読み速度は低下することが知られている (Chung et al., 1998)。さらに、偏心度が大きくなるほどの狭小が示されており (Legge et al., 2001)、ビジュアル・スパンを決定する要因は、文字視力 (letter acuity)・クラウディング・mislocation であると考えられている (Legge, 2007)。mislocation とは文字の順序を誤って認識してしまうことで、例えば “apple” を “appel” のように “l” と “e” の位置が入れ替わってしまうものである。心的辞書を活用するために、文字の位置情報が重要になる場合がある。ビジュアル・

スパンとクラウディングと *mislocation* は相互に関わりながら、読み速度に影響する要因になっている。Levi, Song, and Pelli (2007) は、ビジュアル・スパンはクラウディングが影響していると指摘しており、読みトレーニングがビジュアル・スパンの大きさを拡大するのであれば、クラウディングが減少することになる。つまり、読みトレーニングでビジュアル・スパンの拡大やクラウディングの減少が可能であれば読み速度は向上することが予想される。読みトレーニングについては後述する。

3文字のうち真ん中の文字（例えば“tgu”）は単一文字（例えば“g”）よりも偏心視で認識するのが難しいことが知られている（Bouma, 1970）。この干渉効果のことはクラウディングとよばれている。フランカーの存在によりターゲット文字の認識率は低下する（Bouma, 1970）。このクラウディングの文字認識の研究からビジュアル・スパンの大きさを制限するものとして挙げられている（Legge, 2007）。3文字の間隔を広げれば文字の認識はしやすくなる可能性があるが、間隔を広げるほど両端の文字はさらに周辺の視野で捉えることとなり、間隔を広げすぎればビジュアル・スパンの狭小につながる可能性がある。Flom, Heath, and Takahashi (1963) はターゲットと上下左右に隣接するバーの距離が短いほど認識率が低下することを明らかにしている。

第4項 読み速度向上に向けたトレーニング研究

Owsley et al. (2009) は、アメリカのロービジョンリハビリテーションを行う団体（例えば、眼科や州機関など）にアンケートを実施し、患者の約 74.1%は中心暗点があり、全患者のうち約 86%が読みに困難を抱えており、リハビリテーションが必要であることを明らかにした。視覚障害者にとって読み速度向上は仕事、学業、趣味の点から非常に重要であると考えられる。実際、読み速度向上に向けて様々なリハビリテーション研究が進められてきた。視覚障害者の中でも必要度の高い読み速度向上を目的とした偏心視の読みトレーニング研究をまとめた。主に眼球運動を高めるトレーニング（Seiple, Szlyk, McMabon, Pulido, & Fisbman, 2005）、トリグラムなど文字を使用した知覚学習（Perceptual Learning）

トレーニングについての研究を整理した (Chung et al., 2004)。知覚学習とは経験により比較的永続的で一貫性のある変化であるとされている (Gibson, 1963)。

1. 眼球運動トレーニング

文字を読むことは、眼球運動を伴って得られる視覚情報だけではなく高次の認知や言語処理も関わっている。さらに、読み環境も重要であり晴眼者に空間周波数が 2 cycles / character 未満のローパスフィルターを施すと読み速度が低下 (Legge et al., 1985a)、10% 未満の低コントラスト状態で読み速度が急激に低下することが示されている (Legge et al., 1987)。このような読みの環境下であっても眼の動かし方は晴眼と同様に、サッケードをして中心窩または PRL の網膜位置に関わりなく情報を取得しやすい網膜位置で停留を行う。黄斑変性のある人は探索行動が障害され、サッケードの幅が減少することやターゲットを見つけるためのサッケードの増加などが挙げられている (van der Stigchel, Bethlehem, Klein, Berendschot, Nijboer, & Dumoulin, 2013)。斜視や不同視のある弱視の小学生は読み速度が低下し、その要因としてサッケード数の増加が挙げられている (Kelly, Jost, Cruz, & Birch, 2015)。視覚障害の人が抱える読み環境で眼球運動と読みパフォーマンスについて明らかにするため、Yu, Shamsi, and Kwon (2022) は輝度、ぼやけ、コントラストを独立変数に眼球運動を測った。その結果、ぼやけが大きくコントラストが低いほどサッケードの振幅が減少し、停留時間や停留回数が増加することが示された。また、停留時間は読み速度の 78% を説明するため (Yu et al., 2022)、眼球運動は読み速度の重要な要因の一つである。そこで、Seiple et al. (2005) は眼球運動トレーニングを行い、2 行テキストの読み速度が向上するかを調べた。刺激として点を使用したサッケードの練習から始め、1 文字、2 文字と情報量を増やしていくトレーニングを行い、読み速度が約 27.5% 向上、視力も向上したことを示した。さらに、Nguyen, Stockum, Hahn, and Trayzettel-Klosinski (2011) は 40 歳以下の黄斑変性の参加者を 2 群に別け、眼球運動トレーニングおよび知覚学習トレーニングの効果を検討した。その結果、知覚学習トレーニングは停留時間が短くなり読み速度が向上

し、眼球運動トレーニングは順行サッケード数が減少し読み速度が向上した。読み速度の測定で用いた刺激は日常的な読みに近いページリーディングであり、参加者に黙読を課したため、トレーニング効果が一般的な読みに汎化する事が明らかとなった。眼球運動の改善を目的にしたトレーニングで弱視の読み速度向上が確認されている。

2. 文字刺激の読み速度向上を目指したトレーニング効果

弱視のある人は、拡大読書器などの視覚補助具を使用して文字を読むことがある。そこで、拡大読書器などを使用しながら文字を読むトレーニングが読み速度にどれほど影響を与えるかを検討する研究が行われてきた。例えば、参加者が拡大読書器を動かす能動的な動きだけでなく受動的な動きも読み速度向上につながる事が示されている (Faubert & Overbury, 1987)。そのことから、弱視のある人がすぐに拡大読書器を使いこなせなくても、受動的な拡大読書器の文字の動きが読み速度を向上させる可能性があることが示唆されている。その他、視覚障害のある人に、拡大読書器や拡大鏡を使用したトレーニングにより読み速度は向上することが示されている (Goodrich, Mehr, Quillman, Shaw, & Wiley, 1977)。このような 1900 年代後半の視覚補助具を使用した読み研究から網膜場所を重要視した読み研究が行われるようになった。Nilsson, Frennesson, and Nilsson (2003) は SLO (Scanning Laser Ophthalmoscope) を使用し、参加者の TRL (Trained Retinal Locus: 訓練により身につけた網膜領域) を確立させ、スクロールテキストおよび拡大鏡用いたトレーニングを行った。その結果、トレーニング前後で読み速度は向上したことを明らかにしている。適切な TRL で計 5 ~ 6 時間の短時間のトレーニングにより、高齢者 (平均 77 歳) の文字処理を速めることができたことが特徴である。続いて、無意味刺激を用いたトレーニングとして Andersen, Ni, Bower, and Watanabe (2010) は晴眼の高齢者 (平均 71 歳) に「T」または「L」の文字および周辺に提示される垂直または水平の線を認識する刺激 (Texture Discrimination Task: TDT) を用い SOA 閾値 (Stimulus Onset Asynchrony threshold) の変化を調査した。2 日間のトレーニングの結果、SOA 閾値近くの刺激を提示することでパフォーマンスは向上

し、トレーニングしていない平均 21 歳の若者と同一パフォーマンスを出せ、3 ヶ月は維持することを確認した。知覚学習によるトレーニングは視覚障害者だけでなく、加齢による視機能が低下した高齢者にも効果があることが示唆された。

以前から、読み速度向上を目的とした研究が進められており、2000 年代から有意味単語や 3 文字アルファベットの無意味綴りであるトリグラムを使用した知覚学習トレーニング研究が進められることとなった。Chung et al. (2004) は晴眼の若者 18 名 (19~30 歳) を擬似偏心視上部視野、下部視野、コントロール群の 3 つに分け、トリグラムをさまざまな文字位置に提示する文字認識タスク (letter-recognition task) を用いて 4 日間トレーニングを行い、トレーニング前後の RSVP 読み速度とビジュアル・スパンの変化を調べた。その結果、読みトレーニング効果は最大読み速度およびビジュアル・スパンに現れ、その効果はトレーニング視野および非トレーニング視野で共通にみられた。非トレーニング視野およびトレーニングで扱わなかった文字サイズにも読みトレーニング効果の汎化が確認されたことから、読みトレーニングの重要事項から網膜場所が外れることがわかる。また、Chung et al. (2004) はトレーニング効果が 3 ヶ月間持続することを確認しており、効果は一時的でないことが示されている。PRL が最も良い視力ではないことも明らかにされており (Bernard & Chung, 2018)、Chung et al. (2004) などのトレーニング効果の転移からトレーニング網膜部位に固執する必要はないことも考えられる。さらに、参加者が若者ではなく高齢者であった場合の効果を確認する研究が行われた (Yu et al., 2010a)。高齢者の晴眼者 18 名 (平均 65 歳) に、3 文字のアルファベットを下部視野に提示し、トレーニングの効果を上下の視野で確認した。その結果、トレーニングしていない視野でも正解率が上昇した。しかし、RSVP 読み速度はトレーニングした文字サイズと視野でのみ向上していた。つまり、若者の研究と比較すると高齢者のトレーニング効果は限定的であることが示された。その理由は、高齢者はトレーニング前のパフォーマンスが低いと効果が出にくいことや、加齢による偏心視のビジュアル・スパンの狭小、トレーニング効果を維持する力が弱いことが挙げられた。さらに、Yu et al. (2018) は晴眼の若者 14 名 (18~22 歳) に擬似偏

心 10° で正答率 80%に達すると提示時間を短くするというトレーニングを行い、RSVP 最大読み速度の変化を調べた。提示時間 120ms~250ms のときに正解率が大きく向上し、RSVP 読み速度も約 41%向上したことを示した。今回の研究ではトレーニング前に 300wpm 以上の速さで読むことができていると、トレーニングの利益は少ないことが示された。読みトレーニング効果はある程度の読み速度を達成していると効果が少ないことがわかる。文字認識タスクの読みトレーニング効果を説明する要因を検討するため Lee, Kwon, Legge, and Gefroh (2010) はトレーニング効果の説明要因に注意力 (attention) は含まれないことを考察している。続いて、文字認識タスクをランダムなアルファベット 3 文字ではなく、よく使用される単語の 3 文字チャンツ (例えば、ion、ill など) を使用した結果、ビジュアル・スパンや読み速度の改善は Chung et al. (2004) と同程度であったことが示されている (Bernard, Arunkumar, & Chung, 2012)。チャンツは英単語とは異なり、文字認識タスクと同様にボトムアップのトレーニングになった可能性があることが指摘されている。読みトレーニングではトリグラムタスクを使用し、3 文字すべてを回答させることが多いが、Treleaven and Yu (2020) はトリグラム刺激のうち中央の文字を動的刺激として提示し、中央の文字のみ認識させることでビジュアル・スパンおよび RSVP 読み速度の有意な向上を明らかにした。トレーニングにより混み合いの減少がおき、ビジュアル・スパンと RSVP 読み速度の改善につながったことを示している。多くの研究でトリグラムの瞬間提示をして読みトレーニングをすることで読み速度向上につながったことが明らかにされている。

文字認識タスク以外の効果的な読みトレーニング法を検討するため、Yu et al. (2010b) は文字認識タスク、語彙決定タスク (lexical-decision task)、RSVP タスクを課し、RSVP タスクが最も RSVP 読み速度を向上させることを示している。RSVP タスクは文字認識タスクと同様に文字を瞬間提示させているが、有意味文であることが特徴であり、トップダウン処理も使用できる。Nguyen et al. (2011) は RSVP トレーニングと眼球運動トレーニングを実施し、前者は停留時間の減少により読み速度が向上し、後者は順行サッケード数の減少が読み速度と相関していることを示した。トレーニング効果の確認は RSVP 読み速度を

比較することが多かったが、Nguyen et al. (2011) の研究ではパッセージリーディングを採用しており、より自然な読みの汎化を示している。Chung (2011) は中心視力喪失者の 6 人を対象に RSVP を使用し週 6 回のトレーニングを行い、トレーニング前後の効果を調べた。その結果、参加者全員 RSVP の読み速度は 53% 向上した。つまり、1 分間に読める文字数が約 1.5 倍に増加したことを意味する。臨界文字サイズと視力はトレーニング前後での変化はみられなかった。トレーニング前後で RSVP の提示時間と正答率のグラフの傾きを比較したところ、トレーニング後の方が傾きは急になることが示された (Coates & Chung, 2014)。トレーニングにより全ての提示時間で正答率が上昇したことが示され、文字認識の精度自体が向上したことがわかる。Chung (2011) は RSVP トレーニングを実施した結果、その効果は fPRL (preferred retinal locus for fixation : 当事者が好んで使用する網膜領域) の位置に起因するものではないことを示しており、読みトレーニングは神経可塑性により読みが改善した可能性があると考えしている。読みトレーニングは文字認識タスクだけでなく、RSVP のトレーニングでも読み速度向上が確認された。

知覚学習の読みトレーニングによる読み速度向上の要因について調べた研究ではビジュアル・スパンの拡大はクラウディングが主要な要因であり、mislocation も要因の 1 つであることが示されている (He, Legge, & Yu, 2013)。クラウディングと読み速度の関係を調べた研究では、クラウディング減少を目的とした読みトレーニング (“uncrowded” task) によりクラウディングの大きさ (magnitude) と空間範囲 (spatial extent) は改善するが、読み速度は速くならなかった (Chung, 2007)。クラウディングの改善とはトレーニング文字間隔の正答率向上とトレーニングしていない文字間隔の正答率向上を指す。トリグラムの中央の文字のみ回答する課題であったため、単語の認識速度は向上せず読み速度は改善されなかったと考えられる。続いて Chung (2007) と同様のトレーニングでビジュアル・スパンの拡大可能性を検討した結果、ビジュアル・スパンは改善するが読み速度は向上しなかった (Chung & Truong, 2013)。読み速度が向上しない要因として、文脈の手がかりや単語の形状による読みの要因を挙げている。

読みトレーニング効果として読み速度を測定する際に、単語の瞬間提示である RSVP を用いることが多いが、それ以外の提示法で読み速度の向上を検討した研究がある。Chung (2021) は同位置のトリグラムの一定の条件に到達後に提示時間を短くする読みトレーニングにより、RSVP・MNREAD・紙に印刷されたパッセージの読み速度変化を調査した。その結果、RSVP 最大読み速度のみが約 44% 向上し、提示時間は約 32% 短縮した。トレーニング方法は文字の瞬間提示であり、単語が瞬間提示される RSVP と類似しており、RSVP 読み速度が高まったと考えられる。さらに RSVP の特徴は最小限の眼球運動で読めることであるため、MNREAD やパッセージのような眼球運動が必要な文章の読み速度向上にはいたらなかったと考えられている。読みトレーニング間隔と効果については、トレーニングを毎日実施しても 2 週間に 1 回のトレーニングでも効果に有意差はなく、トレーニングの恩恵を受けることが確認されている (Chung & Truong, 2013)。読みトレーニングはさまざまな角度から研究が行われており、読み速度を高めるために文字を使用することは手軽で実施しやすく読み速度に多くの利点があることが明らかにされている。

3. 視機能向上を目指すトレーニング

弱視の機能的困難としてコントラスト感度と視力が挙げられる。視力は指標にランドルト環や特別なフォントのアルファベット 10 文字であるスローン文字などがあり、提示方法は単一視標や字づまり視標がある。クラウドニングの影響などを考慮した単語視力 (word acuity) もあり、語長は視力に影響を与えないことが示されている (Whatham, Mermoud, Déruaz, Goldschmidt, Zesiger, & Safran, 2006)。Zhang, Zhang, Xue, Liu, and Yu (2007) は中国語の複雑度が大きいほど一文字視力は大きくなることを示し、Zhang, Zhang, Xue, Liu, and Yu (2009) は偏心度が大きいほど複雑度の影響を受けることを明らかにしている。このように、視力の様々な研究が進められているが、読みトレーニングの効果を視力の改善で測る場合もある。Zhou, Huang, Xu, Tao, Qiu, Li, and Lu (2006) はコントラストを低下させた縞模様の有無を選択する課題で視力とコントラスト感度の向上を確認している。さ

らに、この2つの機能改善に向けたトレーニングを行ったところ、コントラストを下げたランドルト環の向きを答えるトレーニングが視力やコントラスト感度において最も高い効果が示された (Astle, Webb, & McGraw, 2011)。これらの研究は単一の刺激でトレーニングすることで効果を確認している。弱視の文字処理を高める知覚学習では日常的な文字情報に近づけるためトリグラム刺激を用いることが多い。特に、文字処理はクラウディングの影響が大きいため、単一文字の刺激は知覚学習に適さないと考えられる。刺激の文字数は、それぞれ改善したい要因により使い分けた方が効果的であることが示唆される。この問題を解決するため、Chung, Li, and Levie (2012) は成人の弱視を有する参加者にクラウディングの軽減を目的にした文字認識タスクグループとコントラスト感度向上を目的にした一文字トレーニングタスク (single letter identification task) グループに知覚学習トレーニングを実施した。その効果、文字視力、臨界文字間隔、一文字認識コントラスト閾値、ビジュアル・スパンの4項目で確認し、両トレーニングで全項目が有意に向上した (Chung et al., 2012)。どちらのグループもクラウディングの減少やコントラスト感度が高くなり、フランクナーの有無は効果に影響しないことを示した。

読みトレーニングから偏心視の文字の認識を明らかにする研究が進んでいる。擬似偏心 10° で6日間、コントラスト文字閾値の測定を反復した結果、閾値は低下し、情報抽出が向上したことが示されている (Chung, Levi, & Tjan, 2005)。擬似偏心 10° で低コントラスト1文字をトレーニングした結果、各コントラストの認識率は有意に改善したが、各輝度の認識率およびトレーニングしていない視野や文字サイズには効果がなかった (Chung, Levi, & Li, 2006)。知覚学習効果が他の視野に移行する結果を示した研究もあるが (Chung et al., 2004)、トレーニングの移行は課題の難易度や視覚刺激のレベルの要因にも依存することがわかる。輝度トレーニングは輝度閾値とコントラスト閾値を改善することを示し、トレーニングされていない刺激にもトレーニング効果が汎化したことが示されている (Chun, Li, & Levi, 2008)。読み速度の要因であるクラウディング低減やコントラスト感度向上を目的にトレーニングされることもあり、一定の効果が確認されている。

4. 今後期待される読み速度向上のトレーニング

視覚障害者の読み速度向上を目的に、多くの研究者がアルファベットや文を用いたトレーニング等の知覚学習などにより読み速度は向上することを明らかにしている。知覚学習により、クラウディングを減らせることができ、読み速度向上につながることも明らかにされている (Chung et al., 2004; Treleaven & Yu, 2020)。しかし、晴眼者の擬似偏心視や中心暗点のある視覚障害者などの研究対象者、トレーニング刺激、読み速度測定方法、トレーニング結果収集方法など、研究方法は様々である。偏心視の読みトレーニングはまだ確立されたとはいえず、研究中の段階である。

今後のトレーニング法として、Campana and Maniglia (2015) は視機能の治療・改善のための革新的な方法の開発を行う必要があると提案している。革新的な方法とは、知覚学習に加え脳波や多感覚を使用する方法、トレーニング時間の減少や楽しめる工夫のことである。Maniglia, Cottureau, Soler, and Trotter (2016) は知覚学習研究の今後の展望として、知覚学習のみでなく脳に磁気で刺激を与える経頭蓋磁気刺激法 (Transcranial Magnetic Stimulation) を用いた脳刺激と組み合わせた新しいトレーニング法を作成することで試行数の減少およびトレーニング時間の短縮ができると考察している。文を読む際にリマッピングすると読み速度は速くなったことから (Gupta, Mesik, Engel, Smith, Schatza, Calabrese, van Kuijk, & Legge, 2018)、トレーニングだけでなくテキストの提示方法も今後検討される必要がある。今までの研究以上の読み速度の向上およびトレーニング時間や期間の短縮など新たな読みトレーニングが期待されており、これからの研究の発展が望まれる。

脳の可塑的な変化を反映していると考えられている知覚学習 (Karni & Sagi, 1991; Zhang, Zhang, Xiao, Klein, Levi, & Yu, 2010) は、トレーニング後の数時間で固定し、再活性の後に再固定されると考えられている (柴田, 2019)。欧米での読みトレーニングは数日連続で行われることが一般的であり (Yu et al., 2010b; Nguyen et al., 2011; Bernard et al., 2012; Yu et al., 2018; Treleaven & Yu, 2020; Chung, 2021)、トレーニング時間を十数時間空けて行われ、ポストテストなどによる事後試行が再活性を引き起こし、学習が定着するものと考えられ

る。少なくとも3～6ヶ月程度は読みトレーニングの効果は持続することが確認されており（Chung et al., 2004; Andersen et al., 2010; Astle et al., 2015）、数時間・数日のトレーニングで学習の定着が見込まれている。

第5項 日本語の読み

読みの研究では眼球運動を取得し、停留回数やサッケード幅などから読みの特徴を明らかにすることがある。停留をしている時間のことを停留時間とよんでおり、日本語の停留時間の平均は0.2～0.3秒、サッケード長は約3～4文字であるとまとめられている（斎田, 1993）。

前項で読みトレーニングについてまとめたが、主に英語を用いて研究が進められていた。英語と日本語は体系が異なり、日本語の読みは、平仮名・カタカナ・漢字といった複数の文字セットが用いられる。アルファベットは日本語とは空間周波数が異なっており、1文字を認知できる大きさはアルファベット大文字、平仮名、アルファベット小文字、漢字の順により大きい文字サイズが必要であることが示されている（小田・今橋, 1995）。必要な文字の大きさだけでなく、文章および英文のような単語間の空白がない文章の認識を題材にして研究が進められている（例えば、松田, 1995; 松田, 2001）。日本語を用いた知覚学習を利用した読みトレーニングの研究は少なく、晴眼者の読み速度向上の観点から研究が進められている。斎田（2004）は速く読める人は一般的な読み速度の人より、サッケードが大きく、停留時間が短く、停留回数は少ないことを示している。さらに、行の端から端まで全て見るのではなく、行の途中で次の行に移動することもあるようである。読みが速い人は一度にたくさんの文字を認識できていることがわかる。読みの速さは眼球運動に依存することから、森田（2009）は眼球運動・視野・実践の3つのトレーニングを行い、読み速度が向上したことを示した。視界を拡大するためのトレーニングのみの効果を測るため、森田（2012）は1週間の自宅でできるトレーニングを作成し、読み速度が30%向上し、ビジュアル・スパンも改善することを明らかにした。しかし、読み速度とビジュアル・スパン

ンの関係があるとは言い難く、正確に文字を読み取れる範囲の拡大より、文字認識の速度が読み速度と関係する可能性があることを示唆している（森田, 2012）。偏心視の研究でも同様に、ビジュアル・スパンの拡大に加え、文字認識の速度を高めることが読み速度向上の一要因になる可能性が高い。読み速度は文字認識だけでなく、頭の中で文字を音韻化する内声化も読み速度に影響があることが示されており、5分程度の読みの内声化を抑制するトレーニングを行うことで、読み速度が約60%向上した研究がある（森田・小澤, 2015）。この研究ではトレーニングにより読み中に内声化が減少したかどうか、脳波で確かめたわけではないが、低コスト・短時間で読み速度向上が示されている。このように、読みトレーニングは簡易に手軽に実施でき、効果が出るのが理想である。

読み速度の要因として眼球運動が挙げられることがあり、日本語でも研究が進められている。日本語の文章は、文字の種類による視覚的特徴が眼球運動の手がかりになり（Kajii, Nazir, & Osaka, 2001）、特に漢字が眼球運動の手がかりになることが示唆されている（松田, 2001; Sainio, Hyönä, Bingushi, & Bertram, 2007）。小林・川嶋（2018）は読み速度と眼球運動について研究を進め、大学生200名の読み速度は平均653文字/分であり、読み速度の差は主に「総停留数」であり、順行サッケード長の長短が読み速度に影響していることを示唆している。停留時間と読み速度に有意な関係がないことから、停留時間より停留数の減少が読み速度を決定する要因であることがわかる。日本語の眼球運動から文字の表示形式であるレイアウトの検討も進められている。日本語では文節区切りで行頭が階段状で表示される方法が、単に文節で区切るよりも読み速度を速めるとされている（小林, 2020）。これらの研究は晴眼者で行われているが、眼球運動について眼疾患を有する人を対象に研究が進められている。柿沢・中田・谷村（1987）が弱視の人の衝動性眼球運動の速度と振幅は晴眼者と同等であることを明らかにしている。さらに Murata, Miyamoto, Togano, and Fukuchi（2017）は小数視力1.0の緑内障がある人と晴眼者の停留時間に有意差があることを見出しているが、読みパフォーマンスには視野欠損が影響を及ぼしていると述べている。視力や視野など視覚障害の特性が日本語の読みと眼球運動パターンに与える困難について

は晴眼者と比較することや晴眼者のシミュレーション実験を通して明らかにする必要がある、今後の研究が待たれる。

視覚障害にまつわる読み研究では、疾患と読み速度や文字サイズが調べられている。例えば、藤田・安田・小田・湯沢（2006）は視力 1.0 の緑内障を有する人の読み速度は、暗点の位置によって晴眼者より低下することを示しており、視力以外の要因が読み速度に影響を及ぼすことを明らかにしている。偏心視の読みに関する研究では、文字サイズや混み合いの研究が進められている。小田・乙訓・高橋・大西・杉山（2015）は中心視では単語や文節など文字を使った刺激であれば、刺激を変えても臨界文字サイズは同じになることを明らかにした。混み合いについては臨界文字サイズ未満では読み速度は影響を受けるが、十分大きい文字サイズだとそれほど影響しないことが示された（川嶋・小田・藤田・中村・香川, 1999）。さらに黄斑変性などを対象に照明が読みパフォーマンスに影響するか検討した研究では、読書視力は照明が明るくなるほど向上しており（Ro-Mase, Ishiko, & Yoshida, 2020）、文字を読む環境が重要視される。三科・佐々木・佐藤・本郷・和田（2017）は iPad と紙の媒体および一般的な文章と理療用語のある文章が読み速度に与える影響を調べ、両条件が読み速度に影響を与えることを示している。

第3節 読みの概要と教育における読みの役割

第1項 文字の音声化と文字認識

日本語の仮名は表音文字であり、音節文字として機能しており、漢字は表意文字として捉えられる（今野, 2023）。文字の処理に関してはいくつかのモデルが提案されている。その中で主要なものに DRC モデル（Dual Route Cascaded model）があり、文字を音韻化する経路には語彙経路（lexical route）と非語彙経路（nonlexical route）が存在すると考えられている（Coltheart, Rastle, Perry, Langdon, & Ziegler, 2001）。文字が提示されると視覚特徴ユニットが活性化し、文字ユニットで文字情報が認識され、音韻システムまでの経路が語彙経路と非語彙経路に分岐する。語彙経路は有意味語の処理に関与し、辞書を活用しながら音韻システムへ情報を運ぶ。一方、非語彙経路は書記素-音素システム（GPC 規則：grapheme-phoneme correspondence rules）を介して音素システムに変換される。非語彙経路では 1 文字 1 音素の対応で文字列を音韻化し、語彙経路では単語の文字形態、音韻形態、意味が重要であり、辞書と照らし合わせる。他にも処理モデルとしてはトライアングル・モデルが挙げられる。Seidenberg and McClelland（1989）は読みについてのフレームワークを提案し、文字層（Orthography）・意味層（Meaning）・音韻層（Phonology）という 3 つのユニットが相互に情報をやり取りして音韻化することを示唆している。このモデルは単語や非語が同じ原理で処理されると考えられている。日本語においても、成人の漢字および仮名の音読特徴を再現できることが研究によって明らかにされている（伊集院・伏見・辰巳, 2000; 伏見・伊集院・辰巳, 2000）。

Iwata（1984）は日本語における読み書きの二重回路モデルとして、文字情報をウェルニッケ野に送るまでに背側路と腹側路の 2 通りがあるとし、背側路は仮名読みの音韻処理、腹側路は漢字読みの意味処理に必要であるとまとめている。その後、Sakurai, Momose, Iwata, Sudo, Ohtomo, and Kanazawa（2000）は新しい二重回路説を提唱しており、漢字は主に腹側路で意味処理され、仮名は背側路の音韻処理と腹側路の両方で処理されると考えており、親和性のある単語は腹側路が有意になることまとめている。篠塚・窪田（2012）は平仮名・

カタカナ・漢字の意味理解のしやすさの主観評価から漢字は音韻符号化せずに意味理解をし、平仮名はカタカナより音韻符号化が浅く意味表象に達するのが速いと考察しており、これは Sakurai et al. (2000) の説を裏付けている。ただし、これらの刺激は「テイシュカンパク」のようにそもそも漢字で書ける単語で比較しているため見慣れないカタカナの刺激の意味理解が難しいと感じた可能性を否定できない。高山・大西・城本・村中 (2017) は脳賦活部位により平仮名およびカタカナは背側路を介すことを示唆し、Iwata (1984) の経路を支持している。日本語の2つの表記形態における符号化過程の違いを検討するため、斎藤 (1981) は読み上げ課題における両表記の符号化過程の違いを語の読み上げと文適合判断の2つの課題を用いて検討した。その結果、仮名は文字数が増加するほど読み上げ時間が遅延する一方で、漢字の読みは遅延を示さず、漢字表記は、形態的符号化仮説に適合し、仮名表記の処理に対して音韻的符号化仮説が適合すると考えられるが、一方の経路のみで説明することはできないと述べている。三益・宇野・春原・金子・栗屋・Wydell・狐塚・後藤・蔦森 (2011) は小学5・6年生の仮名実在語と非語の音読潜時を測定し、文字数が多いほど潜時が長くなることを明らかにしている。

文字の認識を明らかにするために、日本語では平仮名・カタカナ・漢字単語および無意味語などを用いて音読潜時・単語非語判断正答率などを従属変数として実験が行われることがある。仮名と漢字で文字処理経路が題材に挙がることがあるが、日本語表記が処理に与える影響を明らかにすることを目的に研究が進められている。Yamada (1998) は仮名单語が漢字単語より音読潜時が短いこと、漢字単語の方が速く英訳されることから、仮名は音韻に近く、漢字は意味に近いことを示唆している。また、漢字は意味アクセスが音韻アクセスより速く起きるが、仮名は同時に起きることを考察している (Yamada, 1998)。カタカナ単語の場合、仮名单語と同様に文字を音韻化する際に音韻アクセスのみだけでなく語彙アクセスも関与している可能性が指摘されている (Besner & Hildebrandt, 1987)。カタカナ単語や平仮名单語は文字数が増えるほど音読潜時が長くなり、語長効果は無意味綴りの方が大きいことが示されている (Rastle, Havelka, Wydell, Coltheart, & Besner, 2009)。つま

り仮名を読む際には、単語全体の語彙的な読み方と文字を一音ずつ逐次的に読む両方の処理が行われていることになる (Besner & Hildebrandt, 1987; Rastle et al., 2009)。さらに、Dylman and Kikutanni (2018) は、平仮名は音韻から意味の経路のみの処理だけではない可能性とカタカナは音韻から意味の経路が強い可能性を示し、平仮名とカタカナは同じ経路の処理ではない可能性を指摘している。Dylman and Kikutanni (2018) は Yamada (1998) と同様に仮名は漢字より音読潜時が短くなることを示し、漢字は音韻処理と意味処理が並列する可能性を示唆しており、平仮名・カタカナ・漢字の処理は異なる可能性があることを考察している。また、漢字熟語は漢字を分解し形態素レベルでの処理をする点で仮名刺激とは異なる漢字特有の処理であることが考えられている (楠瀬・吉原・井田・薛・伊集院・日野, 2014)。さらに、語長や文字の形態から文字処理を明らかにする研究が進められている。文字の特徴に応じて処理は進められ、平仮名・カタカナ・漢字の処理は同じでも完全に別の処理を行うこともないことが明らかにされている。これらのことから、仮名・カタカナ・漢字は確実に別の経路を辿って処理されるわけではなく、文字を発声するまでの処理は音韻および意味プロセスの比重やアクセスまでの速度差があり、仮名は音韻プロセスのみ、漢字は意味プロセスのみが活用されるわけではないことがわかる。刺激を音声化するには意味情報より音韻情報へのアクセスが速いほど潜時は短くなる、つまり意味情報の変換が速くはじまる漢字より仮名の潜時が短くなると考えられる。

第2項 教育における読み

教育において文字を読むことは必須であり、文章の内容理解をすることが求められる。文部科学省は子どもの読書活動の推進に関する基本的な計画において読書活動を推進しており、特に教育現場では朝の読書活動を取り入れている学校が多い (朝の読書推進協議会, 2020)。デュアー (2013) は論文をレビューしながら読書が子供に与える影響をまとめており、語彙力・読解力・学力・想像力・性格の形成・感情と感性の発達・社会性・共感力・文脈理解力・経験の拡張などに寄与するとまとめている。子供の頃に多様なジャンルの本

を読むことを意味する読書の充実は成人の意識・意欲・行動に影響を及ぼすことが知られている（濱田・秋田・藤森・八木, 2013）。特に科学的な本を読んだ冊数が日常での科学的興味・関心に影響を与え、理科への学習意欲に影響を与える可能性が指摘されている（脇野・角谷, 2018）。読書は学習意欲や語彙力などに影響を与えることが示されており、文字を読むことは重要視されている。

全国学校図書館協議会（2023）は、1ヶ月の間に本を読まない児童生徒が一定数いることを示し、年齢が上がるほど本を全く読まない人数が多い結果であった。よく読書をする子供とあまり読書をしない子供はどの要因が関係しているのだろうか。van Bergen, Snoeling, de Zeeuw, van Beijsterveldt, Dolan, and Boomsma（2018）は7歳半の双子の読み能力（reading ability）と母親・教師のアンケート調査から読み能力と読書量（print exposure）の因果関係を推測した。その結果、読み能力が読書量に因果的な影響を及ぼしていることを示し、自ら読書するかどうかは読み能力に依存していることが考えられる。van Bergen et al.（2018）は読みが苦手な子供に介入をすれば読書量が増加することや、読み技能（reading skill）の向上により読書量が増える可能性が示唆されている。弱視を有する人にとって読み能力が向上する、すなわち楽に速く正確に読むことができれば、読書量は増加することが予想される。しかし、視覚障害のある子供にとって特に家庭で文字を見る機会が少なく（Fellenius, 1999）、文字を読みたいという気持ちがあっても晴眼者と比べて読書量は少ない可能性がある。

読み能力について Logan, Heart, Cutting, Deater-Deckard, Schatschneider, and Petrill（2013）は小学生の読みスキルの成長は元々の遺伝的要素（genetic component）と家庭の音読などの共有環境（shared environmental）が関係していると明らかにした。単語認識や文法等の高い読みの能力を身につけることは算数の成績向上に役立つ可能性が指摘されており、特に低学年の読み成績はその後の算数成績に大きく関わることを示されている（Hübner, Merrell, Cramman, Little, Bolden, & Nagengast, 2022）。授業内容や環境が変われば異なる結果になることは考えられるが、アメリカの小学1年生～4年生の成績が平均以下の児童は、

読みと算数成績が相関しており、特に読みの成績がその後の算数成績に影響を与えることが明らかにされた (Erbeli, Shi, Campbell, Hart, & Woltering, 2021)。読みの能力向上は他の教科にとっても重要な役割を担うことが予想される。

読解力は教育において1つの指標となることがある。OECDによるPISA2018の調査によると読解力は「自らの目標を達成し、自らの知識と可能性を発達させ、社会に参加するために、テキストを理解し、利用し、評価し、これに取り組むこと」と定義されている(国立教育政策研究所, 2019a)。PISA2018で日本の生徒の正答率が低かった問題は、テキストから情報を探し出す課題や情報を質と信憑性を評価して熟考する課題である(国立教育政策研究所, 2019b)。近年の教育の動向ではテキストを読むだけでなく、テキストを使用して自分の意見を表すなどの活用が重視され、文章を読む力があることは当然のこととして扱われている。文字を読むとは、「テキストを初めて読む、情報の重要性を判断する、推論する、テキストの統合、解釈する」という5つの行動を相互に行うことである(Pressley & Afflerbach, 1995)。文字を読む前に抱いていた予想は、テキストを読むにつれて修正される(Pressley & Afflerbach, 1995)。このように文字を読んで理解することは様々な要因が絡んでいることがわかる。

音声読み上げと音読で繰り返し読む練習(repeated-reading strategy)をすることで一般的な文字サイズ・拡大文字・点字の音読速度は向上し、参加児童・生徒の読みに対する自己肯定感も向上することが示されている(Pattillo, Heller, & Smith, 2004)。参加者の中には、速く読めるようになったことで読むストレスが減ったと感じた人がおり、教師が読み速度に応じて課題を減らすだけでなく、読み速度向上を指導することは必要であると考えられる。また、視覚障害のある読み速度向上について、音声読み上げで音声を聞きながら文字・点字を読むことが読み速度を向上につながると感じており、重要な要因になる可能性がある。読み速度向上に向けた研究では、Corn, Wallm Jose, Bell, Wilcox, and Perez (2002)は幼稚園生から12年生までの園児や児童生徒に拡大鏡を使用する前後の読み速度を比較した結果、読み速度は向上したことを示している。

このように、教育において文字を読むことは非常に重要な課題であり、読み速度の発達に関する研究も進められている。Alves, Santos, Miranda, Carvalho, Ribeiro, Freire, Martins-Reis, and Celeste (2021) はブラジルの小中学生の読み速度を大規模に調査した結果、学年が向上すると読み速度は向上し、ばらつきは少なくなり、中学1年生ごろ読みスタイルは確立され成長率は少なくなることを明らかにした。Alves et al. (2021) は学年ごとの読み流暢さのパラメーターを学年ごとに明らかにすることの重要性も述べており、日本の教育においても同様であるといえる。

平仮名読みの習得時期と標準読書力診断テスト BII を用いた読解力の発達を調査した高橋 (2001) は習得時期が早いほど小学1年生の命名速度が早く読解能力と相関があるが、学年が上がるほどその効果は弱まることを示した。さらに、小学校段階の子供は読書を通して語彙を増やしているため、読解能力を高めるためには読書を重視する必要があると結論づけている。特に小学校低学年は、読み聞かせや音読の読解指導が効果的であることが明らかにされており、自力で読むよりも聴覚的に提示された課題成績が勝ることからも年齢が上がるほど自力で読む能力が向上することがわかる (高橋, 2012)。低学年は書き言葉より音声言語に依存していることが考えられており (高橋, 2012)、書き言葉に慣れることも重要であると考えられる。川崎・奥村・中西・川田・水田・若宮 (2019) は、心的辞書がデコーディングや語彙、読解などに影響を与えることを示しており、心的辞書の影響は物語文より説明文の方が大きいことも示している。これらの研究から、語彙力や心的辞書などが複合的に関係し合い読解能力が形成されると考えられる。

第2章 本研究の目的と研究概要

第1節 本研究の構成と目的

本研究の主題は、弱視の読み速度が向上する読みトレーニング法を探ることである。読みという大きなテーマであるが、これらは研究分野によって考え方が大きく異なる。弱視状態の場合、文字を知覚することに困難を抱え（Cheong et al., 2007; Chung et al., 2007）、文字を大きくしても読み速度が低下することが知られている（Chung et al., 1998; Legge et al., 1985b）。読み速度は教育・仕事・日常生活に大きく関わるため、読み速度向上を目的とした研究が進められており、本研究では日本語で文字処理速度を高める読みトレーニングを実施することとした。本研究の読み速度測定では、刺激ごとに理解度を確認するクイズを設定することで、参加者が内容理解をしながら読む状態に制した。本研究では個人要素が大きい内容理解の精度を高めることまでは研究目的にせず、見えの困難による文字を見て知覚するまでの処理過程を扱うことで、読みトレーニングの効果を実験的に検討した。

まず、第1部では弱視の読みトレーニング実施に向けて、弱視の文字知覚の特徴を探ることとした。表音文字である英語や韓国語、表語文字である中国語などを用いて弱視の読みの研究は進められている（Lee et al., 2003; He et al., 2013; Zhang et al., 2009）。第1部では日本語で扱われる表音文字の仮名と表意文字の漢字の知覚特性を明らかにすることを目的とした。擬似偏心視では偏心度に応じた文字サイズが重要であると考えられ（Chung et al., 1998）、まずは仮名と漢字で必要な文字サイズを明らかにして、正答数と音読潜時から中心視と偏心視の文字知覚の相違点や類似点を明らかにすることとした。

第2部では、弱視のある人に読みトレーニングを実施し、その効果を測った。弱視のある人は読みに困難を抱え、それを改善したいという気持ちがある（Owesly, 2009）。しかし、十分に文字拡大をしても晴眼者と同程度の速度達成には至らない場合がある（Chung et al., 1998）。つまり、拡大読書器や拡大鏡といった視覚補助具を使用して文字の拡大や網膜像上の文字拡大を行い、読みやすい環境であったとしても読み速度という観点から読みパフォーマンスを考えると、向上の余地がある。速度向上を目的に読みトレーニングを実施した

ところ効果は確認されているが (Chung, 2021; Yu et al., 2018 など)、日本語を用いた知覚学習の読みトレーニング効果については十分に検討されていないため、本研究では速度向上に向けた読みトレーニングを実施することにした。読みトレーニングは眼球運動について扱うものやトリグラムタスクを瞬間提示してその処理速度を高めるものなどがある (Seiple et al., 2005; Yu et al., 2010a)。読みトレーニングによりビジュアル・スパンの拡大と読み速度が向上することが示されており (Yu et al., 2010b; Chung, 2021 など)、日本語でもビジュアル・スパンが拡大すれば一度に正確に認識できる文字数は増え、必然的に停留回数などの眼球運動にも影響を及ぼすことは予想できる。本研究では読みトレーニング刺激として文字の瞬間提示をしたときの読み速度やビジュアル・スパンに与える影響を明らかにすることを目的とした。

本研究の全体像を Fig. 2-1 に示した。第 1 部では晴眼者の擬似偏心視状態で偏心視の文字知覚について明らかにすることを目的としている。第 2 部では弱視の 10 代から 30 代の若者を対象に読みトレーニングを行い、日本語での読みトレーニング法確立を目指す。

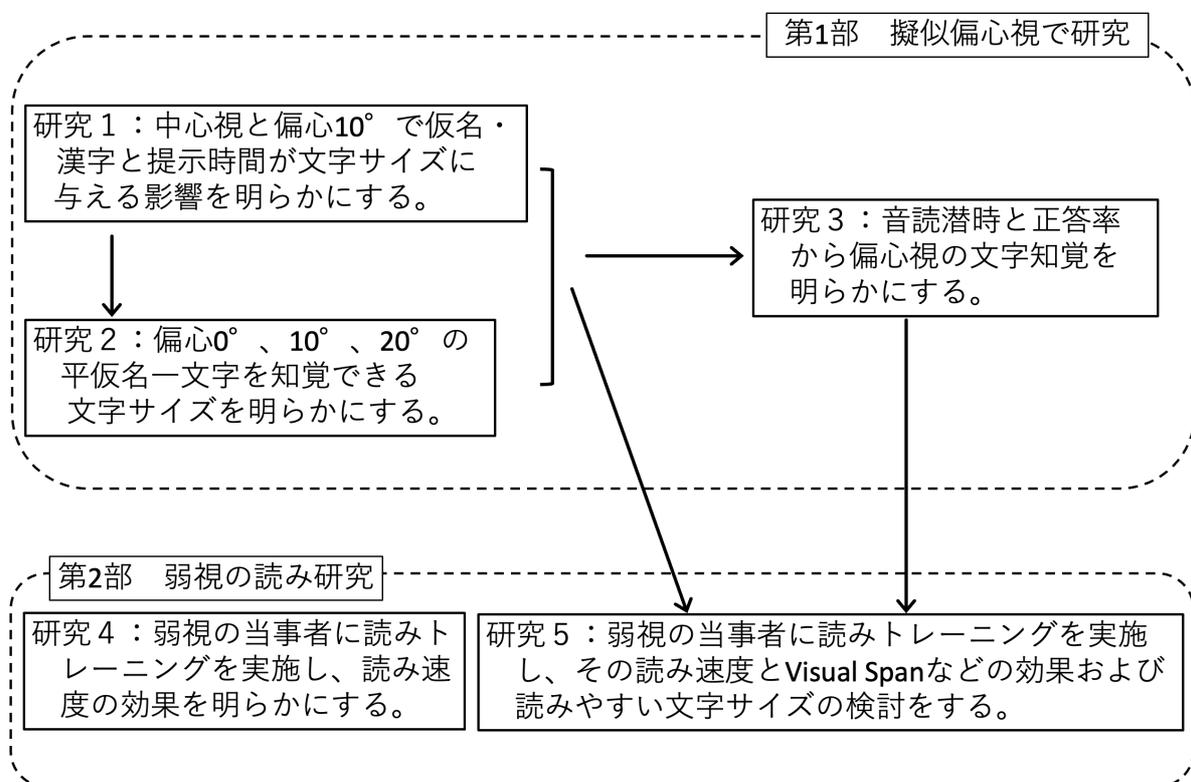


Fig. 2-1 本研究全体の概要図

第2節 本研究の方法

第1項 第1部について

第1部では偏心視の文字処理特性を明らかにするために3つの研究を行った。実験として晴眼の大学生・大学院生を対象に中心視および設定した偏心度にターゲット文字を提示し、刺激を口頭で回答するよう教示した。偏心度を要因にするために晴眼者にさまざまな偏心度で研究を行うことはよく取り入れられる手法であり（例えば、Chung et al., 1998; Legge et al., 2001; Chung, 2004 など）、本研究でも晴眼者を対象に偏心度を変えて刺激を提示した。3つの研究では独立変数に偏心度が用いられ、研究の目的に応じて他の独立変数と従属変数が設定された。第1研究では偏心 0° と 10° において、仮名・漢字および提示時間の要因が文字サイズに与える影響を調べた。第2研究では、偏心 0° 、 10° 、 20° において、仮名1文字を認識できる文字サイズを調査した。第3研究では、偏心 0° 、 10° 、 20° において、正答率と音読潜時を従属変数に偏心視の文字知覚の特徴を明らかにすることとした。

第2項 第2部について

第2部では弱視のある高校生から成人（17歳から36歳）を対象に読みトレーニングの効果を測った。第4研究では4日間ずつの2つのトレーニング法を用い、それぞれが読み速度に与える影響を明らかにすることとした。1つ目は、仮名無意味語および仮名・漢字有意味語を瞬間提示するトレーニング法であり、仮名から漢字へと複雑度を高めながら処理速度の向上をねらいとした。2つ目は、RSVP トレーニング法であり、文を刺激として採用し、文脈による予測がつく状態で処理速度を高めることをねらいとした。第5研究では第4研究よりも短い1時間の読みトレーニングを1日のみ実施し、読みトレーニング効果を測ることを目的とした。さらに、読みトレーニングを臨床で扱えるようにするためにLatham and Macnaughton (2022) のように平易で短時間の臨界文字サイズ測定を検討することとした。

第5研究では、弱視の10代から30代の成人を対象に1時間の読みトレーニングを実施し、その効果を読み速度およびビジュアル・スパンで確認した。さらに簡易な臨界文字サイズと同程度の文字サイズ測定のための選好文字サイズを測定した。第4研究では合計8日間の読みトレーニングを実施したが、第5研究では1日のトレーニングであり、無意味語3文字のみの瞬間提示を行いその効果を確認することとした。読み速度はESPとページリーディングで測定した。第4研究ではRSVPで読み速度を測定していたが参加者の様子を鑑み、一律の提示時間で瞬間提示される方法は複雑度の高い漢字を知覚することの負荷が高いと考え、参加者が提示する時間を決められるESPを採用することとした。両研究の読み速度測定についてTable 2-1にまとめた。

Table 2-1 各研究で扱う読み速度の求め方

	第4研究		第5研究	
	RSVP	ページリーディング	ESP	ページリーディング
内容	実験者が設定した提示時間で一文節が表示され、音読する。 文字サイズ×提示時間ごとに文を出した。	拡大読書器を用い、参加者が読みやすいと感じる視距離と拡大率で200文字程度の文章を音読する。	参加者のキー操作で一文節を表示しながら音読する。文字サイズごとに文を提示した。	紙読み：100文字程度の文章を決められた視距離で音読する。 iPad読み：100文字程度の文章を参加者が決めた視距離と拡大率で音読する。
独立変数	正答した文節数と提示時間からMRSを求め、1分間あたりの文節数を算出(文節/分)	正しく読めた文字数と音読時間から、1分間あたりの文字数を算出(cpm)	正しく読めた文字数と提示時間からMRSを求め、1分間あたりの文字数を算出(cpm)	正しく読めた文字数と音読時間から、1分間あたりの文字数を算出(cpm)

1. 読み刺激

第4研究のトレーニング効果を測る方法はRSVPとページリーディングである。RSVPは読み速度を測る方法として多くの研究で取り入れられている(例えば、Chung et al., 1998; He et al., 2018a)。英語圏では文中の単語を1つずつ提示しているが、日本語の場合は英語圏と同様に提示することは困難である。よって、本研究では1文節ずつ提示することとし、1文節が4文字以内になるよう刺激を作成した。刺激は、主に外国に住む人が日本語を学

習するために作られた本である『読むトレーニング基礎編』および『読むトレーニング応用編』から RSVP の刺激を抽出した。刺激 1 文の文節数は 8.0 ± 0.8 個、1 文節の文字数は 2.8 ± 0.2 個、漢字数は 7.5 ± 1.1 個、1 文における漢字含有率は 0.4 ± 0.04 であった。カタカナは使用されていない。刺激文の統制を優先したため、刺激元の文を修正する場合があった。そこで、刺激の読みやすさを揃えるために予備実験として 1 文節を 420ms で提示した RSVP 読みを晴眼者 6 名に音読してもらった予備実験を行った。三輪ら (1998) は 20 代の晴眼者に 750 文字程度の長文を読ませた結果、約 400cpm であることを示しており、予備実験では 1 文節を 420ms で提示した。この提示時間で次々提示される刺激を参加者 1 名以上が、読み間違える文節や読めない文節があれば、刺激の難易度が高いことや文の流暢性に課題があると考え、その刺激は本研究では取り扱わなかった。

RSVP はモニターの左側中央に単語が連続して表示されました。刺激の提示時間と同じ時間に「###」が表示されて刺激の提示位置を表し、参加者は刺激文を声に出して読んだ。実験者は参加者の発言を聞き、正しく読めた文節数を 1 文ごとに数えた。参加者の音読で文節の順序が入れ替わっていても正答とした。刺激提示法を Fig. 2-2 に示した。

ページリーディングの文章は物語文および説明文として『「今、ここ」から考える社会学』(好井, 2017)、『中学生からの哲学「超」入門』(竹田, 2009)、『何のために「学ぶ」のか』(鷲田, 2015)、『あと少し、もう少し』(瀬尾, 2012)、『大きくなる日』(佐川, 2016)、『みかづき』(森, 2016) の 6 冊の本を元に抽出した。予備実験として晴眼者 6 名に音読してもらい、平均読み速度が速すぎる刺激と遅すぎる刺激を除き、読み速度を揃えた刺激を採用した。刺激の文字数は、 233.8 ± 22.9 文字、漢字の数は 69.7 ± 13.9 個、漢字含有率は $29.8 \pm 5.2\%$ だった。刺激はカタカナが出現しないように抽出された。刺激の統制のため、文章を修正することや登場人物の名前を読みやすいものに変更する場合があった。

第 4 研究では RSVP 読み速度の測定で、大きい文字から小さい文字まで瞬間提示されるため、小さい文字サイズを参加者がほとんど読めない場合があり、参加者の負荷が高い様子であった。そこで第 5 研究ではできるだけ参加者の負荷を減らすため、ESP 読み速度を

用いることとした。ESP とは刺激を瞬間提示する方法の RSVP とは違い、参加者自信の操作で刺激が提示される方法である。RSVP と同様の刺激文セットを用い、1 文節ごとに刺激を提示した。その後、文の理解度を測るクイズを 1 題、口頭で実施した。ページリーディングの刺激も第 4 研究とほとんど同様であるが、用紙とタブレットでそれぞれレイアウトが変わらないように提示するため、文字数を 100 文字前後にした。ページリーディングの読み刺激は、 103.4 ± 5.2 文字、漢字数は 39.0 ± 2.0 文字、漢字含有率は $38.0 \pm 1.2\%$ であった。文章の理解度を測るクイズが 1 題、口頭で出題された。

ESP も RSVP と同様にモニターの左側中央に文字が表示され、刺激文開始前に「##」が表示された。刺激文が終了後「終了」と文字が大きく表示され、白紙画面で内容理解クイズが口頭で出題され参加者も口頭で回答した。刺激提示法を Fig. 2-3 に示した。

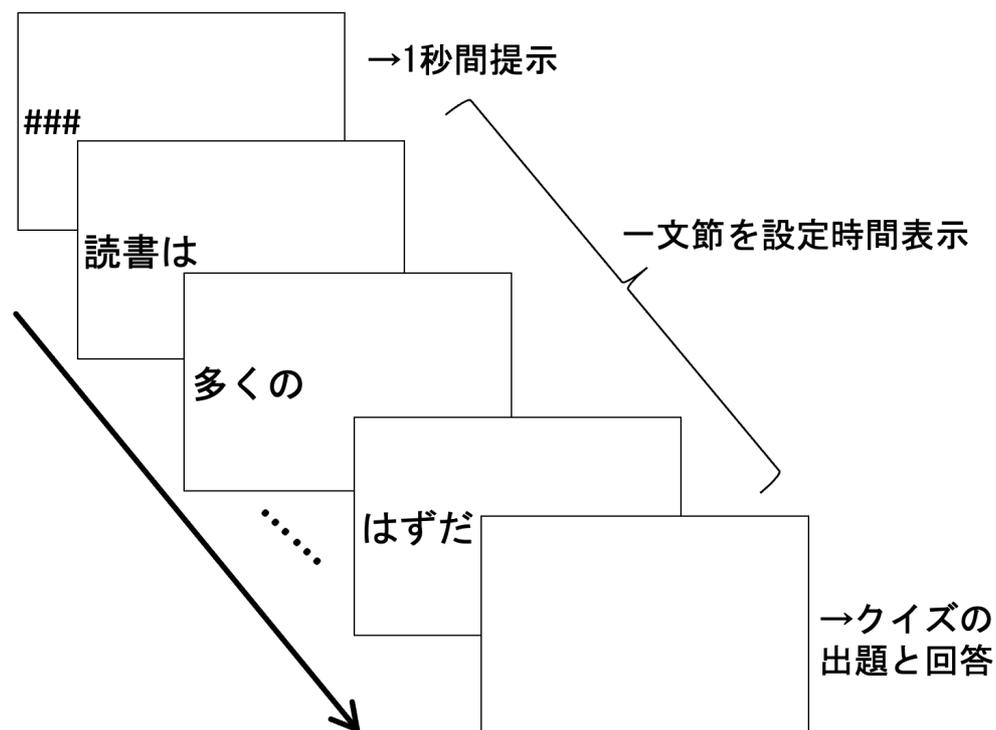


Fig. 2-2 RSVP の刺激提示例

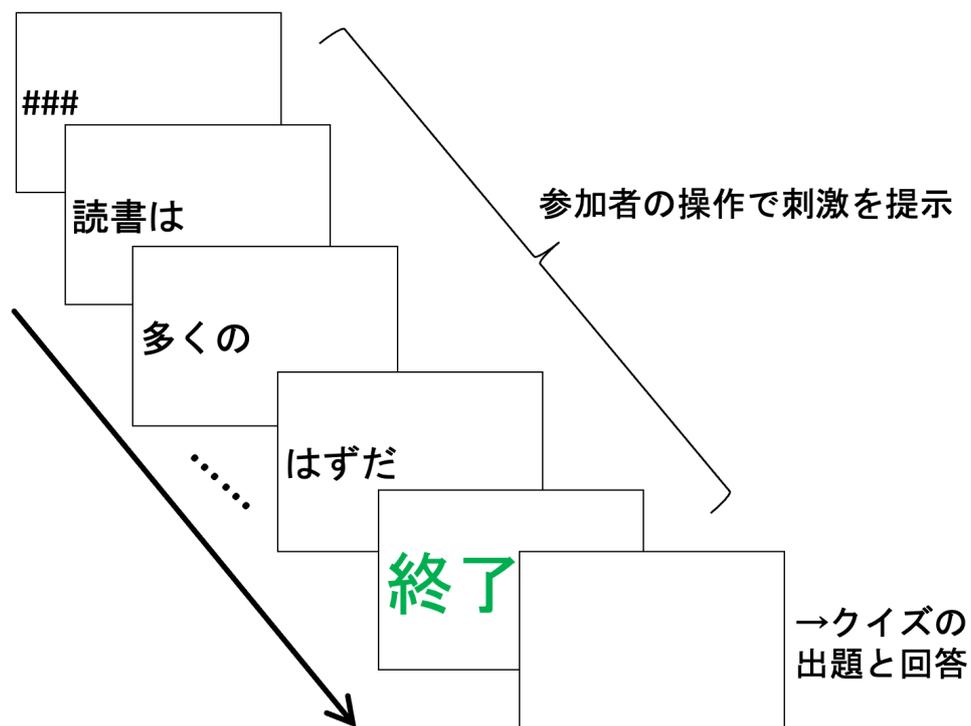


Fig. 2-3 ESP の刺激提示例

2. 読み速度の実験装置と手続き

第4研究のRSVPの刺激提示は、モニター（ASUS、1920×1080、90ppi）に背景が白色、文字が黒色で表示された。輝度は実験前に5点法で計測され、マイケルソン・コントラストは 0.90 ± 0.12 であり、実験終了後は 0.91 ± 0.12 であった。部屋は窓の光を可能な限り遮蔽し、照度は $879.2 \pm 67.8 \text{ lux}$ であった。紙に印刷されたページリーディングは、拡大読書器で参加者が読みやすい大きさに拡大して読んだ。拡大読書器は、X-Yテーブル付きのenhanced vision社製のMerlin HD UltraまたはFreedom Scientific社のONYX Deskset HDが用意された。参加者が使用しやすい拡大読書器を選択した。

第5研究のESPの刺激提示は第4研究と同様のモニターに提示し、参加者が読みやすい背景を白色と黒色から選択し、見やすい輝度・部屋の明るさを調整した。マイケルソン・コントラストは 0.95 ± 0.03 であった。部屋の明るさは暗い部屋を好む参加者と明るい部屋を好む参加者がいたため、照度の標準偏差は大きくなり $840.5 \pm 578.2 \text{ lux}$ であった。

RSVP は 1 つの文字サイズで 8 ～ 12 個の提示時間で文を読む方法である。刺激 1 文の正しく読めた文節数から正答率を算出し、その文字サイズごとに提示時間と正答率を累積ガウス関数にフィッティングさせ、正答率 80% の提示時間をカットオフ値とした (Fig. 2-4)。最大読み速度および臨界文字サイズは Chung et al. (2004) と同様の方法が用いられた。各文字サイズで求めた臨界提示時間から 1 分間に読める文節数 (読み速度 1) を計算し (例えば、ある文字サイズの臨界提示時間が 811.4ms だった場合、 $60/(811.4 \times 0.001) = 73.9$ 文節/分となる)、各参加者の文字サイズと読み速度 1 がプロットされ、two fitted lines で傾きが自由に変化し、2 つ目の線の傾きは 0 に固定された。臨界文字サイズは 2 つの近似直線の交点から算出され、最大読み速度は 2 番目の近似直線の y 軸から算出された。

ESP は刺激 1 文のうち正しく読めた文字数と、初めの文節を提示してから最後の文節を提示し終わるまでの累計提示時間から 1 文あたりの読み速度を求めた (式 (1))。同文字サイズの読み速度を平均し、文字サイズごとに読み速度を求めた。文字サイズと読み速度をワイブル関数にフィッティングさせ (式 (2))、最大読み速度と臨界文字サイズを求めた。臨界文字サイズは最大読み速度の 80% を達成できる文字サイズとした (Fig. 2-5)。式 (2) の x は文字サイズ (視角 ('))、 m_1 はある文字サイズ (x 軸) 上の位置を表し、 m_2 は曲線の傾き、 m_3 は最大読み速度を推定する。この求め方は、Yu et al. (2018) の RSVP 読みを参考にしている。

$$1 \text{ 文の読み速度 (cpm)} = \frac{\text{正しく読めた文字数}}{\text{初めの文節から最後の文節までの総提示時間 (s)}} \times 60 \quad \dots (1)$$

$$\text{読み速度} = m_3 \times \left(1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{m_1}\right)^{m_2}\right) \right) \quad \dots (2)$$

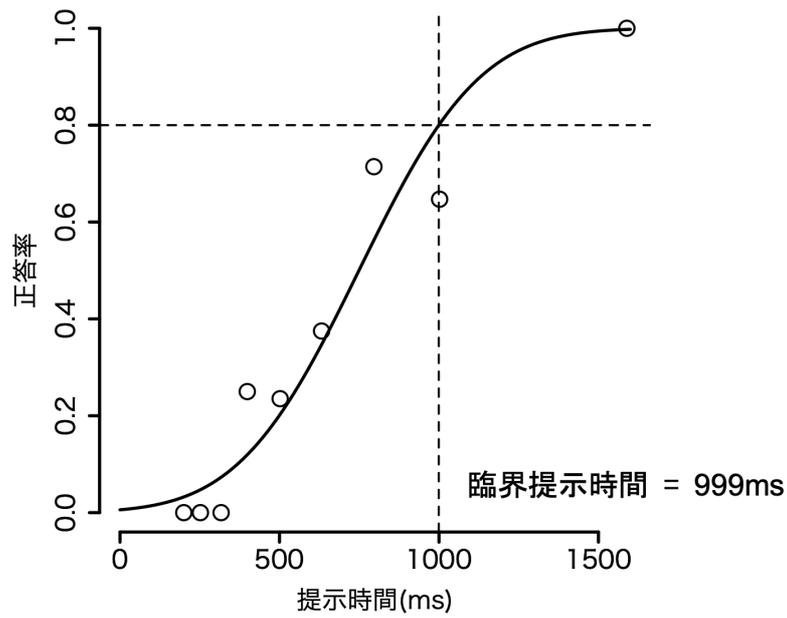


Fig. 2-4 提示時間と正答率の累積ガウス関数フィッティング

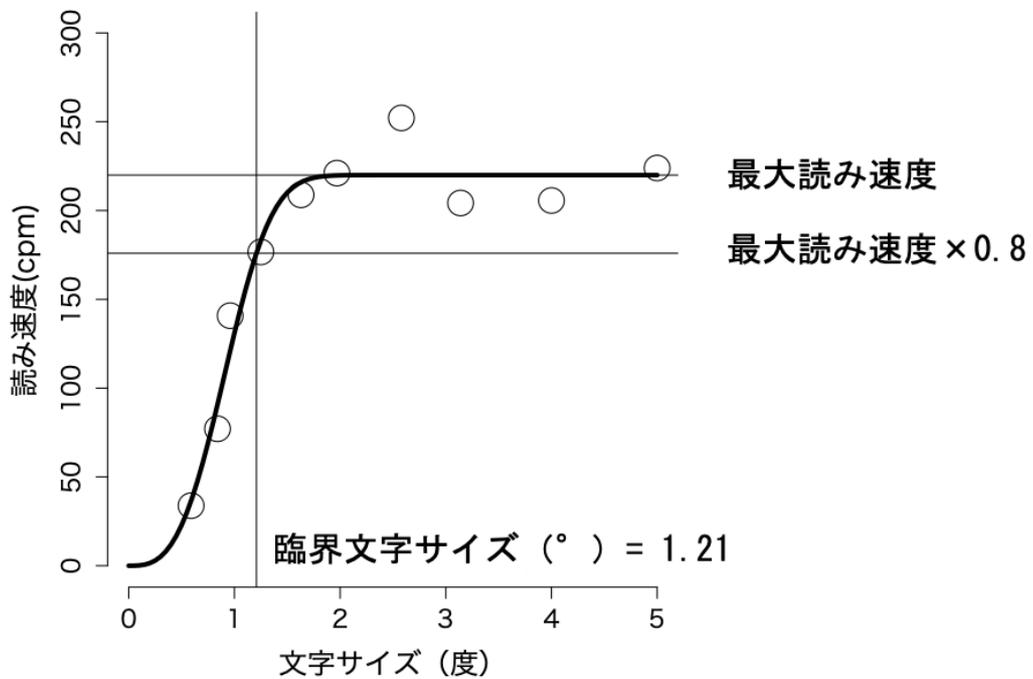


Fig. 2-5 ESP の文字サイズと読み速度のワイブル関数フィッティング

3. ビジュアル・スパンの刺激

第5研究ではトレーニング効果の確認としてビジュアル・スパンが測られた。モニターに提示される仮名3文字（トリグラム）を参加者が口頭で左から右に回答し、その正答率からビジュアル・スパンが計算された。ビジュアル・スパンは Legge et al. (2001) がアルファベットのトリグラムタスクを用いて求め、伝達情報量に変換して求めており、刺激としてアルファベット 26 文字をランダムに並べ替えたトリグラムが使用されている。しかし、仮名清音は、46 文字であるため、刺激になる仮名を 26 文字に抽出する必要があった。中国語でビジュアル・スパンを求める際も抽出された 26 文字を刺激としている (Wang et al., 2014)。よって本研究でも平仮名 46 文字のうちの 26 文字を刺激として扱うこととした。仮名の抽出方法は Wang et al. (2014) と同様に周囲長複雑度 (perimetric complexity) の統制とした。周囲長複雑度とは、画像から自動的に計算される値であり、文字の周囲長の2乗を文字のインク領域(面積)で割ることによって求められる (Pelli, Burns, Farell, & Moore-Page, 2006)。同じ大きさの同じ文字であっても、文字の周囲が滑らかである文字よりギザギザである文字の方が周囲長は長くなり、複雑度は高くなる。樋口・奥村・小林 (2019) は仮名の周囲長複雑度と国立国語研究所の幼児の仮名読み正答率を比べ、読みの獲得と視覚的要因は重要でないことを示している。本研究対象者は高校生以上の成人であるため、仮名読みと複雑度は相関していないことが考えられるが、本研究では複雑度の要因を可能な限り排除して確な位置で文字を認識できる範囲を明らかにすることが目的のため、周囲長複雑度を統制した。白と黒に二値化された仮名画像 (MS ゴシック、300pt) の黒のピクセル数を数え、文字の面積とした。周囲長は3ピクセルの文字の縁取り画像の黒ピクセル数を3で割ることで求めた。周囲長複雑度は、周囲長の2乗を面積で割ることで算出した。刺激として用いた周囲長複雑度を Table 2-2 に示した。

Table 2-2 刺激文字

刺激	周囲長複雑度	刺激	周囲長複雑度
て	91.9	の	122.8
り	100.9	え	123.3
よ	110.1	さ	123.5
に	111.7	や	129.5
ろ	114.6	た	134.2
ら	114.8	わ	134.7
ひ	116.8	れ	135.0
そ	117.9	か	135.5
ふ	118.4	せ	139.6
す	118.9	る	140.8
も	120.7	み	143.2
け	122.0	む	149.6
ち	122.2	め	154.1

4. ビジュアル・スパンの実験装置と手続き

ビジュアル・スパンは文字位置 (letter position) とよばれる場所にトリグラムの提示する課題である。文字位置とは、位置 0 を注視場所とし、左右に文字位置を広げ、数直線のように文字位置に番号を振っていくものである。文字位置は研究によっても異なるが ± 5 から ± 7 の範囲で設定されることが多い (Yu et al., 2010a; Chung, 2021 など)。今回は Chung (2021) と同様に、文字位置を -6 から $+6$ に設定した。文字位置は刺激 3 文字のうちの真ん中の文字を表しているため、例えば「文字位置 $+3$ に刺激を提示した」とは刺激 3 文字の一番左側の文字を $+2$ 、中央の文字を $+3$ 、右側の文字を $+4$ に置くことを指す。各文字位置では、トリグラム刺激のうち左側、中央、右側の文字がそれぞれ同じ試行数で提示される。しかし、文字位置 $+7$ 、 $+6$ 、 -7 、 -6 に設定したときは、他の文字位置より試行数が少なくなる。よって分析は文字位置 -5 から $+5$ までを対象とした。ビジュアル・スパン刺激の提示例を Fig. 2-6 に示す。分析方法は、RStudio 2022.07.1+554 を使い、Yu et al. (2018) と同様に、文字位置と正答率から分割ガウス関数 (asymmetric Gaussian function) に適合させ、その下の領域を伝達情報量に変換した (Fig. 2-7)。分割ガウス関数は Legge et al. (2001) を参考に、式 (3) が使用された。 $p(x)$ は文字位置 x における文字の正答率を表し、 A はガウス振幅のピークを、 σ_L と σ_R は関数の左と右を表すパラメーターである。ビジュアル・スパンや伝達情報量の換算は、He and Legge (2017) や Yu et al. (2018) のように式 (4) を用いた。正答率 100% は約 4.7bits に相当する。ビジュアル・スパンを求め

た後、中心伝達情報量が求められた。トレーニングで使用される文字位置の文字認識精度を確認するため文字位置-1 から +1 までの伝達情報量が計算された (Fig. 2-7)。

$$p(x) = \begin{cases} Ae^{-x^2/2\sigma_L^2} & \text{if } x < 0 \\ Ae^{-x^2/2\sigma_R^2} & \text{if } x \geq 0 \end{cases} \quad \dots (3)$$

$$\text{伝達情報量 (bits)} = -0.036996 + 4.6761 \times \text{文字の正答率} \quad \dots (4)$$

刺激はパワーポイントで作成したのち、画像データで保存され (1,920 × 1,080 ピクセル)、Tobii Pro Lab (Tobii Technology) を使用して刺激の提示を制御し、モニター (ASUS、24 インチ) に提示した。

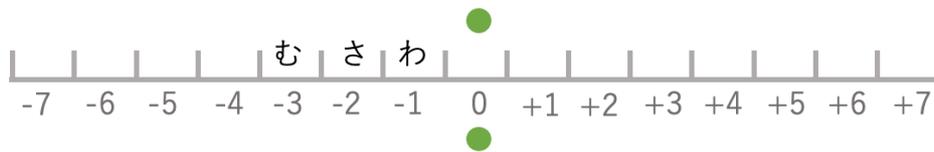


Fig. 2-6 ビジュアル・スパンの刺激提示例 (文字位置-2)

文字位置を表す灰色の数直線は実験中提示されない

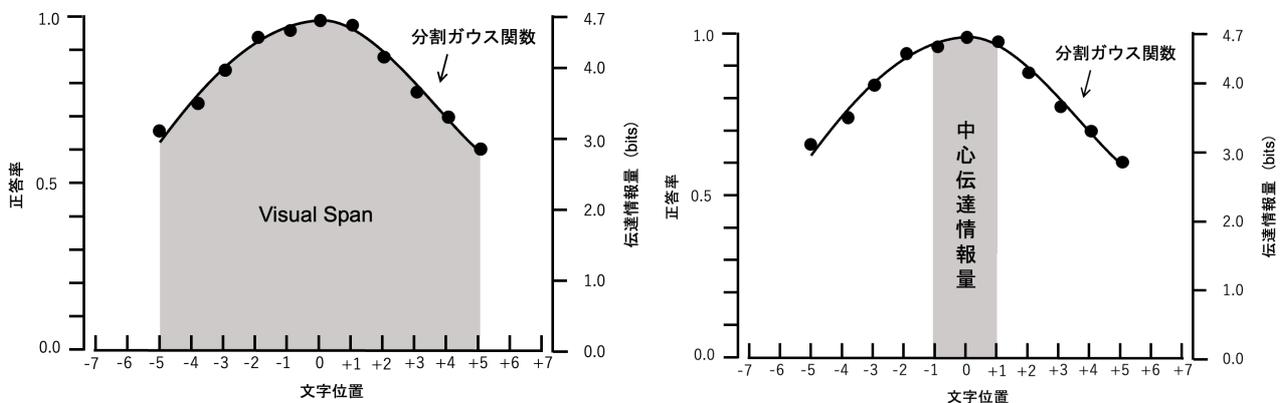


Fig. 2-7 ビジュアル・スパン (左) と中心伝達情報量 (右) の文字位置と正答率の関係

第 1 部 擬似偏心視による文字知覚の研究

第3章 中心視と偏心視の最小認識文字サイズ（第1研究）

第1節 目的と仮説

中心視は網膜の分解能が高く、偏心視は分解能が低いことが示されている。この違いは読み速度にも影響を与えることが明らかにされており、中心視の方が読み速度が速く、偏心視は文字を大きくしても晴眼者より読み速度が遅いことが知られている（Chung et al., 1998）。また、Legge et al. (2001) は、中心視および偏心視の文字認識率には時間的特性（temporal properties）が関わっており、提示時間の短縮は偏心視の文字認識率を著しく低下させる。その対策として、偏心視は語句推論を使用することで読み速度を向上させられると考えられている（Legge et al., 2001）。これらの研究は英語を中心に進められているが、日本語の文字認識に与える時間的特性は中心視と偏心視とでどのように関与しているのだろうか。本研究の目的は、仮名と漢字単語を用いて、中心視と偏心視および提示時間を独立変数、認識できる最も小さい文字サイズである最小認識文字サイズを従属変数として網膜の部位の違いに時間特性が与える影響を明らかにすることを目的とした。

Legge et al. (2001) は固視点付近の文字認識率が最も高く、固視点から離れるのに従って文字認識精度が低下することを明らかにしている。さらに、偏心度が大きくなるほど全体的な文字認識の正答率が下がることを明らかにしている。このように中心視でも偏心視でも固視している文字からわずかに数文字離れるだけで文字の正確性は低下することがわかる。この結果は言語が変わっても同様に、固視している場所から離れるほど文字の正確性は低下すると考えられる。第1研究ではできるだけ固視位置の文字知覚について扱うため、刺激は二文字にすることとした。第1研究では、仮名と漢字を扱い、提示時間を独立変数にして、最小認識文字サイズを従属変数にして文字知覚について着目する。

本研究では最小認識文字サイズを測定する。Kondo et al. (2008) は偏心度が大きくなるほど、文字認識には大きい文字サイズが必要であることを述べているため、本研究でも偏心 10° の最小認識文字サイズが大きくなると考えられる。Zhang et al. (2007) は中心視で、中国語の複雑度別に文字視力を求め、複雑度が低い（例えば、文）より高い（例えば、路）

方が文字視力が大きくなることを示している。漢字は仮名より構造が複雑であるため、Zhang et al. (2007) のように仮名より漢字の方が最小認識文字サイズが大きくなると予想した。Legge et al. (2001) のように偏心視の方が提示時間の影響を受けやすいことから、偏心視の最小認識文字サイズは提示時間の影響を受けると考えられる。

第2節 方法

第1項 研究参加者

参加者は大学生・大学院生の5名であった。本研究の目的、方法、倫理的配慮、結果処理、研究参加の辞退自由について研究者から書面と口頭により説明を受け、同意書に同意をした者を対象とした。参加者の年齢は20～26歳（ 22.3 ± 2.1 歳）であった。両眼近見視力はLogarithmic Visual Acuity Chart Landolt “C”（Precision Vision Inc.）を用い、視距離40cmで測定された。参加者の近見視力は0.8～1.25であった。続いて、日用視野をiPadアプリ「日用視野測定ツール」（民間研究室製, 2017）を用いて測った。日用視野測定ツールとは、学習場面を含めた日常場面において、一度に見ることができる範囲と各網膜位置で知覚できる最小の文字サイズが測られる。検査距離は15cmで、両眼で実施し、全参加者が視野角9°で文字サイズ10ポイントを見ることができた。よって本研究の参加者は、中心視と偏心視でそれぞれ同程度の文字知覚が可能であったことが示されている。参加者は練習試行で提示した刺激の全てを正確に回答しており、実験で課す課題に十分に対応できることを確認している。

第2項 研究デザイン

偏心度（0°、10°）×文字種（仮名、漢字）×提示時間（85ms、110ms、240ms）の3要因参加者内要因計画法であった。各条件で8つの文字サイズの刺激が極限法で提示された。上昇系列と下降系列の1試行ごとに最小の見えた文字サイズを平均し、6試行分を平均した値を最小認識文字サイズとした。

中心暗点のある人は文字を読むときに、暗点の下の視野を活用することが指摘されており（Chaparro & Young, 1993）、擬似偏心視の研究ではテキストを下部視野で活用することが多いため（例えば、Chung et al., 1998; Legge et al., 2001; Yu et al., 2018; Chung, 2021 など）、本研究でも下部視野に刺激を配置することとした。

本実験は、広島大学大学院教育学研究科の倫理審査委員会の承認を受け、実施された（当

時承認番号なし)。本研究の実施期間は、2018年4月29日から2018年9月25日だった。

第3項 刺激

本実験では有意味語の仮名および漢字を刺激とした。刺激は、高校教科書の語彙調査に掲載されている仮名および漢字の实在語とし、仮名は2字単語で使用度数は平均43.62、漢字は2字熟語の4音節で使用度数は平均40.18であり、仮名と漢字の使用度数を揃えた。刺激の個数が不足したため、広辞苑第7版(新村,2018)から補った。刺激の1音目は清音から始まり、語頭で使用される清音は偏らないようにした。

文字の大きさは偏心 0° では4.14分を起点とし、0.07 log unitで拡大した8種類を用意した。偏心 10° の文字サイズは偏心 0° の約10倍に設定した。偏心 0° は $4.1'$ ～ $12.8'$ (約 0.07° ～ 0.2°)、偏心 10° は $37.0'$ ～ $114.3'$ (約 0.6° ～ 1.9°)の文字サイズが用意された。文字サイズは視距離80cmと「国」の高さの実測値から視角が求められた。

第4項 手続き

本実験は暗室で行われ、外光を遮断し、天井灯を全灯した状態であった。参加者は顎台に額と顎を固定した状況で、視距離80cmを保った。固視点が参加者の眼の高さになるようにiPadの位置は調整された。実験は120分ほどであり、途中で休憩を設けた。実験の説明後、練習試行を行い本実験に進んだ。

実験の説明として、単語を読むこと、刺激2文字のうち1文字のみ読めた場合はその1文字を回答するように指示した。漢字の場合は正確に文字を実験者に伝えるため、読めた漢字1文字の音読みと訓読みの回答を求めた。偏心 10° の場合、単語が提示されても注視点を見続けることを意識させた。

刺激の提示方法は、1)注視点「+」を2秒間提示し、2)単語が設定時間提示され、3)白紙画面で参加者が回答する時間を設けた(Fig. 3-1)。実験は一人あたり、2つの偏心度×3つの提示時間×2つの文字種(仮名・漢字)×8つの文字サイズ×12試行(上昇系列

と下降系列で6試行ずつ) = 576 試行が実施された。偏心度のカウンターバランスがとられた。

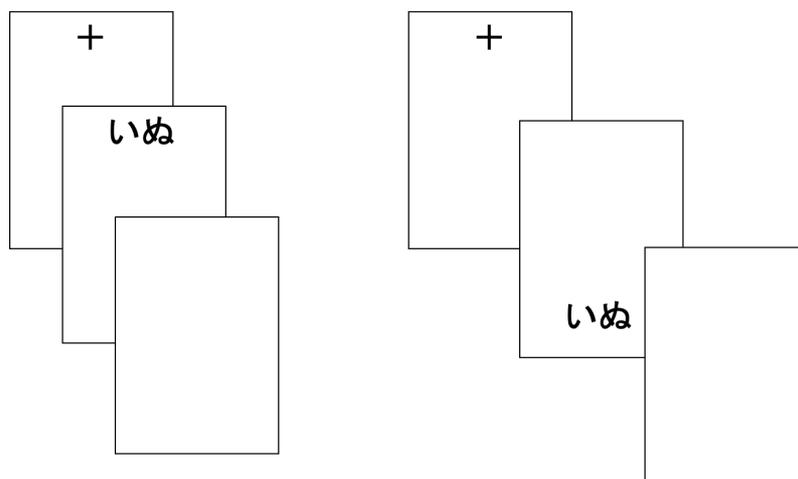


Fig. 3-1 刺激提示の様子（左図：偏心 0°、右図：偏心 10°）

第5項 装置

iPad Pro (Apple Inc.、第1世代、12.9インチ、解像度 2,732×2,048) の画面上に刺激を提示した。画面の5点に配置された文字と同じ黒色の正方形と背景の白色の正方形を輝度計 (KONICA MINOLTA Inc.、LS-100) で測定した結果、マイケルソン・コントラストは 0.91 ± 0.06 であった。マイケルソン・コントラストは $(\text{刺激輝度} - \text{背景輝度}) / (\text{刺激輝度} + \text{背景輝度})$ で求めることができる。ビデオカメラ (Panasonic、HC-W580M、解像度 1,920×1,080、60p) で刺激提示の様子と参加者の眼球運動を記録した。

提示時間はデジタルビデオカメラ (カシオ、Exilm EX-100F、解像度 224×64、1,000fps) で iPad の画面を 1ms のハイスピード動画で撮影し、刺激の提示時間を確認した。

第3節 結果

各条件における最小認識文字サイズを表およびグラフに示した (Table 3-1) (Fig. 3-2)。最小認識文字サイズの大小関係を検討するために、偏心度×文字種×提示時間の3要因分散分析を行った。3要因それぞれの主効果が有意であり (偏心度: $F(1, 4) = 79.502, p = 0, \eta_p^2 = 0.952$; 文字種: $F(1, 4) = 8.949, p = 0.04, \eta_p^2 = 0.691$; 提示時間: $F(2, 8) = 5.928, p = 0.026, \eta_p^2 = 0.597$)、偏心度×提示時間の交互作用が有意であった ($F(2, 8) = 6.143, p = 0.024, \eta_p^2 = 0.606$)。偏心度×提示時間の単純主効果検定の結果、偏心度の単純主効果は全ての提示時間で有意であった (提示時間 85ms: $F(1, 4) = 32.296, adjusted\ p = 0.004, \eta_p^2 = 0.89$; 提示時間 110ms: $F(1, 4) = 24.855, adjusted\ p = 0.007, \eta_p^2 = 0.861$; 提示時間 240ms: $F(1, 4) = 22.803, adjusted\ p = 0.008, \eta_p^2 = 0.851$)。提示時間の単純主効果は偏心 10° で有意であった ($F(2, 8) = 11.334, adjusted\ p = 0.004, \eta_p^2 = 0.739$)。対応のある t 検定による多重比較 ($\alpha=0.05$, 両側検定) の結果、最小認識文字サイズは提示時間 85ms が 110ms よりも有意に大きい傾向があり ($t(9) = 2.248, adjusted\ p = 0.076$)、提示時間 85ms が 240ms よりも有意に大きかった ($t(9) = 5.315, adjusted\ p = 0.001$)。つまり最小認識文字サイズは偏心 10° より 0° が有意に小さくなり、漢字よりも仮名が有意に小さくなり、偏心 10° は提示時間が長いほど最小認識文字サイズが小さくなる傾向がみられた。

Table 3-1 最小認識文字サイズの結果 (視角(°))

	0°		10°	
	仮名	漢字	仮名	漢字
85ms	5.9±1.3	8.0±1.2	55.5±8.5	68.7±21.7
110ms	5.7±1.3	8.3±1.7	49.8±5.1	60.9±12.3
240ms	6.4±1.1	7.1±1.1	43.8±6.1	62.3±19.3

表内の数値は平均±標準偏差を表す。

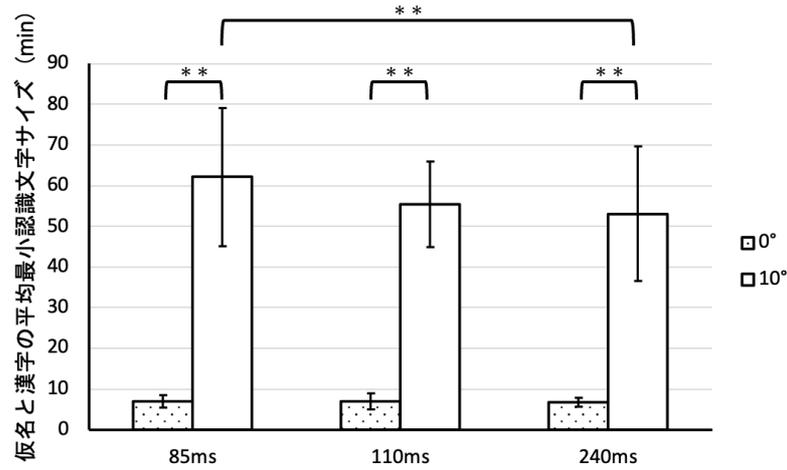


Fig. 3-2 仮名と漢字の最小認識文字サイズの平均

偏心度×提示時間の単純主効果偏心度の結果を示す。

** p < 0.01

第4節 考察

第1項 偏心度の影響

3 要因分散分析の結果、偏心度の主効果が有意であった。仮名と漢字の最小認識文字サイズを平均すると偏心 10° より偏心 0° の方が有意に小さい結果である。これは中心視より偏心視の方が解像度は低く、より大きい文字サイズが必要であることを示した Kondo et al. (2008) と同様の結果である。Kondo et al. (2008) の Fig. 1 の右図より、下部および上部網膜では約 $50'$ (約 0.8°) の文字サイズの平仮名 1 文字を偏心 10° で知覚できることを示している (Fig. 3-3)。本研究の偏心 10° における仮名の最小認識文字サイズは約 $44'$ (約 0.7°) から $56'$ (約 0.9°) だった。Kondo et al. (2008) は刺激を周辺から中心へ動かしながら提示し、本研究では偏心 10° に瞬間提示したという違いはあるが、平仮名 1 文字または 2 文字であれば約 $50'$ (約 0.8°) 前後で捉えることができることがわかる。

偏心 0° と 10° の最小認識文字サイズの比は、提示時間によっても差があるが仮名刺激では約 6.8 倍～9.4 倍、漢字刺激では約 7.3～8.8 倍であった。偏心 10° で認識するために必要な文字サイズは仮名・漢字に関わらず偏心 0° の約 9 倍が必要であることがわかる。本研究では偏心度 10° で文字を読む際の具体的な文字サイズについて明らかにできたことが特徴である。

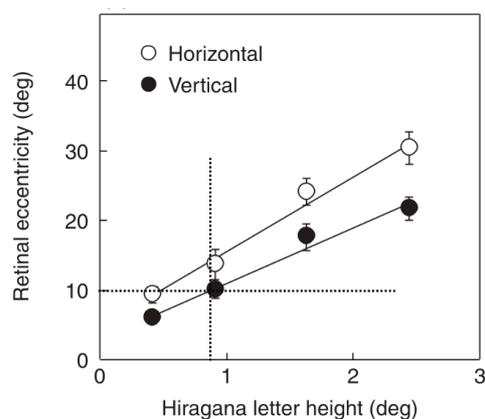


Fig. 3-3 偏心度と文字サイズの関係 (Kondo et al., 2008 より引用、図中の点線を追記)

第2項 提示時間の影響

仮名における提示時間の影響は、偏心 0° と 10° で有意傾向ではあるが、240ms のときの最小認識文字サイズが小さくなることを示している。漢字の場合、提示時間 85ms の最小認識文字サイズは 240ms より有意に大きいことが示された。仮説通り、仮名より漢字の方が提示時間の影響を強く受けることが明らかにされた。提示時間が長いほどより小さい文字まで認識できることは、時間的制限を受けていることを示す。ビジュアル・スパンをさまざまな提示時間で測る研究 (Legge et al., 2001) では、どの偏心度でも文字位置 0 において提示時間が短くなるほど正答率は低下していることを示している。しかし、Legge et al. (2001) の Fig. 6 から、偏心 0° の文字位置 0 では提示時間 50ms 以上であれば高い正答率を保持できているが、偏心 10° では提示時間 500ms で正答率 90%以上となることが確認できる (Fig. 3-4)。先行研究と同様に時間的特性は偏心視の方が大きいことが示される。しかし、本研究で使用した刺激は有意味語であり、語彙推論が使用できる状態であった。語彙推論といっても刺激は 2 文字であるため、1 文字が認知できたときに心的辞書から 2 文字目を予測する、または 2 文字目を認知できたときに 1 文字目を予測するといったことが考えられる。本研究の実験で一番短い 85ms の提示時間では語彙推論ができるほど文字の認知が進まなかったことが考えられる。提示時間が長くなれば正確な文字の認知と語彙推論により小さい文字サイズで認知ができる可能性がある。しかし、ここでは刺激文字数が少ないため語彙推論に頼るより、文字を正確に認知する方が刺激の正答率は上がるのが予想できるため 240ms 程度以上の提示時間が必要と考えられる。

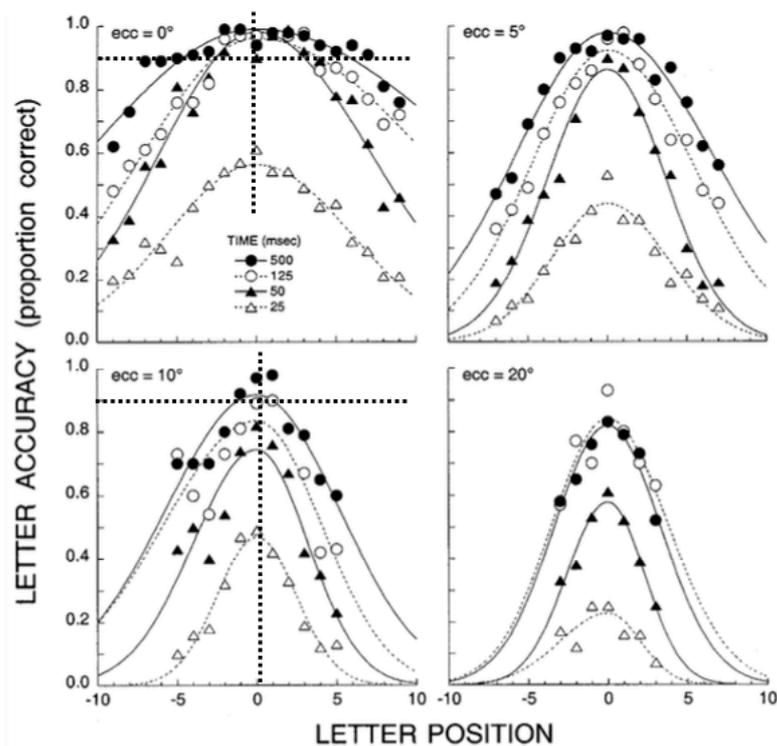


Fig. 3-4 提示時間が正答率に与える影響

Legge et al. (2001) より引用、図中の点線を追記

第3項 仮名と漢字の影響

分散分析の結果、文字種の主効果は有意であったことから仮名より漢字の方が最小認識文字サイズは大きくなった。この傾向は、Zhang et al. (2007) と同様の結果である。偏心 10° では漢字の標準偏差が大きくなっており、認識できる文字の大きさにばらつきが確認された。漢字刺激は仮名よりも複雑な文字を選択したものの、画数を統制していなかったため、「目的」のように画数の少ない漢字から「複雑」のような画数の多い漢字まで様々な画数の刺激があったため標準偏差が大きくなったことが考えられる。つまり、漢字は仮名より1文字の構造が複雑であり、仮名より文字内クラウディングが高い漢字の方が大きい文字サイズが必要であることが示された。小田・今橋 (1995) は偏心度を指定せず1文字の刺激で漢字は仮名の約 1.41 倍大きい文字サイズが必要であることを示している。本研究では偏心 0° で漢字は仮名の約 1.46 倍の大きさであり、先行研究と同様の倍率であること

を示している。先行研究は提示時間が設定されておらず、刺激 1 文字であるため本研究とは方法が異なるが、仮名と漢字の最小認識文字サイズの比率は同程度であった。本研究において、偏心 10° の仮名と漢字は約 1.2 の比率であり中心視より比率は小さくなっている。偏心視ではクラウディングの影響もあるが、そもそも網膜の解像度の低下の影響が強く中心視より比率は小さくなったと考えられる。さらに、小田・今橋（1995）は 1 文字の認知閾と 1 文を読むことができる閾値を比べたところ、平仮名の閾値の方が漢字より一文の文脈の影響を受けないことを明らかにしている。一文刺激の閾値は漢字閾値よりも小さいサイズまで認知することができたという結果であった。仮名閾値は一文刺激の閾値と同程度の文字の大きさであったため、本研究の仮名刺激の最小認識文字サイズも文を読むことができる閾値と同程度になることが予想される。

第 4 項 まとめ

本研究において、以下のことが明らかになった。

- ・ 偏心 0° より 10° の方が最小認識文字サイズは有意に大きくなったことから、文字の閾値には大きい文字サイズが必要であることが示され、その拡大率も明らかにできた。
- ・ 仮名より漢字は複雑度の影響により大きい文字サイズが必要であることが示された。
- ・ 提示時間は最小認識文字サイズに影響を与えることが示された。特に偏心視では語彙推論をすることが重要であり、そのためにも中心視より長い提示時間に設定することが効果的な場合がある。

本研究では、最小認識文字サイズの結果から中心視と偏心視の文字知覚の特徴を示すことができた。偏心度の条件として偏心 0° と偏心 10° のみ扱っていたため、それより大きい偏心度が取り扱えていない。よって、第 2 研究では偏心 0°、10°、20° を扱うこととした。

本研究は偏心 10° の文字認識精度を高めることをねらいとして文字を瞬間提示したが、今後、より長い提示時間や文章の知覚など日常の読みに近い環境下での検討が必要である。

第 4 章 偏心度が文字サイズに与える影響（第 2 研究）

第 1 節 目的

第 1 研究では仮名と漢字の最小認識文字サイズを明らかにしているため、本研究では仮名のみを扱い、偏心 0° 、 10° 、 20° における平仮名 1 文字を認識できる文字サイズ（文字知覚閾）を測定した。各偏心度において見やすい文字の拡大率を確立することを目指した。弱視の人の中には大きな暗点を有する人もいるため、偏心 20° を用意した。本研究の主題である読みトレーニング研究で扱う文字サイズを検討するため、第 2 研究では偏心度に応じた文字知覚閾を明らかにすることを目的とした。

第2節 方法

第1項 研究参加者

参加者は大学生の24名で、年齢は 20.5 ± 0.9 歳であった。実験は単眼で行い、参加者の優位眼を対象にした。日常的にコンタクトレンズを装用している人は実験中も装用し、偏心視で刺激を見るため、眼鏡の特性等による影響を除くために眼鏡を装用している人は対象としなかった。本研究の目的、方法、倫理的配慮、結果処理、研究参加の辞退自由について研究者から書面と口頭により説明を受け、同意書により同意を示した者を対象とした。両眼近見視力はLogarithmic Visual Acuity Chart Landolt “C” (Precision Vision Inc.)を用い、視距離40cmで測定された。参加者の近見視力は0.8~1.25であった。参加者は練習試行で提示した刺激の全てを正確に回答しており、実験で課す課題に十分に対応できることを確認している。

第2項 研究デザイン

偏心度(0°、10°、20°)の1要因参加者内要因計画法であった。各条件で12個の文字サイズの刺激が極限法で実施された。1つの偏心度の各文字サイズで8試行実施され、正答率と文字サイズを累積ガウス関数にフィッティングさせ正答率50%をカットオフ値とした文字サイズを文字知覚閾とした。独立変数は文字知覚閾である。

本研究は、令和元年度広島大学大学院教育学研究科倫理審査委員会の承認を受け、実施された(承認番号2019512)。実験実施期間は2020年2月19日から2020年4月1日であった。

第3項 刺激

ターゲット刺激は平仮名の清直音1文字であった。刺激の平仮名はランダムに出現し、出現頻度は均等であった。実験は片眼で測定されたため、一方は完全遮蔽された。第1研究と同様に偏心視の刺激は下方に提示した。偏心度はカウンターバランスがとられた。文

字サイズは MNREAD と同じ変化率である $0.1 \log \text{ unit}$ であり 12 段階用意された。文字サイズは偏心 0° では視角 $4.0' \sim 48.3'$ (約 $0.07^\circ \sim 0.8^\circ$)、偏心 10° では $16.2' \sim 197.8'$ (約 $0.3^\circ \sim 3.3^\circ$)、偏心 20° では $42.1' \sim 511.0'$ (約 $0.7^\circ \sim 8.5^\circ$) であった。

第 4 項 手続き

実験は遮蔽された空間に、顎台を使用して参加者の額と顔を固定した。視距離は偏心 0° で 50cm、偏心 10° で 130cm、偏心 20° で 220cm であった。刺激の提示方法は、1) 注視点「+」を 2 秒間提示し、2) 1 桁の数字を注視点と同じ位置に 1,000ms 提示し、3) 白紙画面を 50ms 提示、4) ターゲット刺激を偏心 0° の場合は注視点と同じ位置に、偏心 10° および 20° は下方に 150ms 提示、5) 白紙画面を 1,800ms 提示し、参加者が 2) で提示された数字と 4) で提示された平仮名を口頭で回答した (Fig. 4-1)。参加者の回答の仕方は「5、か」のように数字と仮名を答え、仮名が見えなかった場合は「5、ない」と報告した。数字は注視点を注視していることを確認するために提示され、ビデオカメラ (Panasonic、HC-VX992M、解像度 $1,920 \times 1,080$ 、60p) で参加者の眼の様子も確認された。第 2 研究では注視点と同位置に一桁の数字を提示することで注視点を正しく固視できていることを確認し、固視の状況をビデオカメラで監視した。なお、ビデオカメラでの固視の監視については約 2° の跳躍を目視で把握可能であることが示されている (Cheong et al., 2007)。

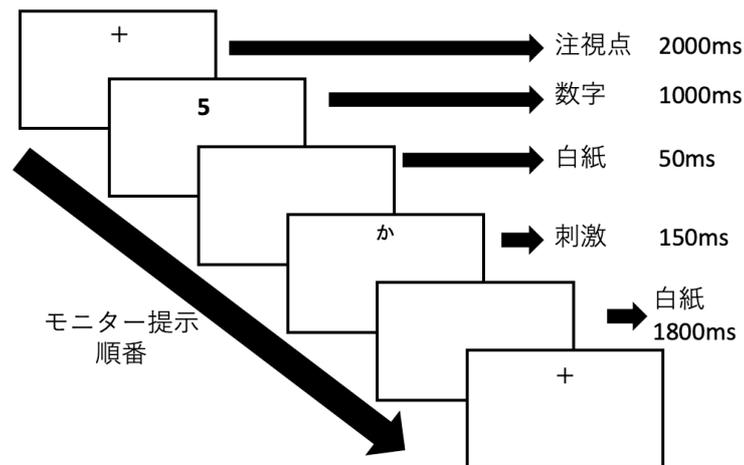


Fig. 4-1 第2研究の偏心 0° 刺激提示の様子

第5項 装置

刺激の制御は Multi Trigger System (メディカルトライシステム)を用い、モニター(ASUS、VG255H、24.5 インチ、1,920×1,080)に刺激を提示した。文字の歪みを抑えるためにモニターのアスペクト比は 4:3 に設定された。刺激の提示時間 150ms を確認するため、デジタルビデオカメラ(カシオ、Exilm EX-100F、解像度 224×64、1,000fps)で刺激を測定した結果、実測値 153 ± 0.001 ms であった。刺激と背景を輝度計で測定した結果、マイケルソン・コントラストは 0.97 ± 0.02 であり、実験終了後も同程度の数値であることを確認した。

第6項 分析方法

参加者ごとに各文字サイズの正答率を累積ガウス関数に適合させ、正答率 50%をカットオフ値とし、その文字サイズを文字知覚閾として扱った。その一例を Fig. 4-2 に示した。全参加者の文字知覚閾を偏心度ごとに中央値として算出し、その結果をウイルコクソンの符号付順位和検定で分析した。

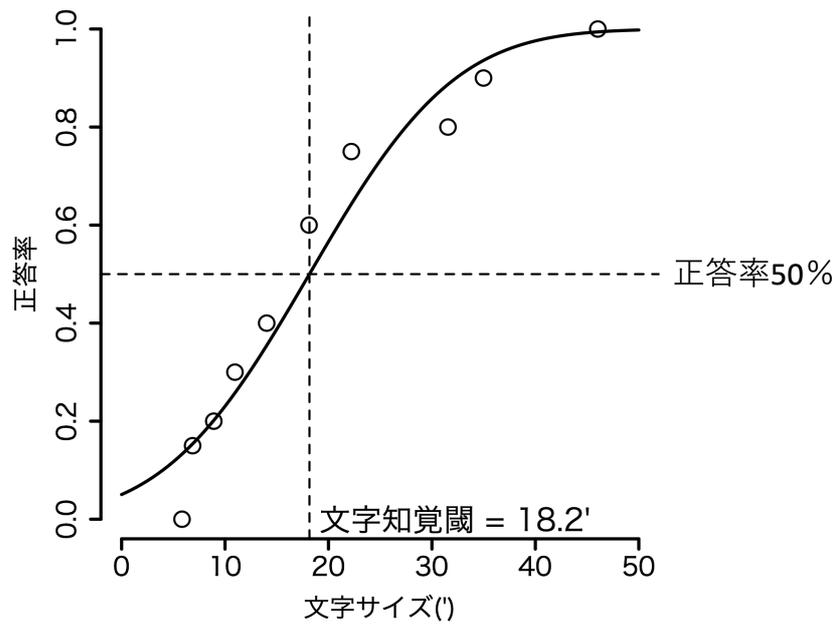


Fig. 4-2 文字サイズと正答率の累積ガウス関数

第3節 結果

各偏心度における文字知覚閾の箱ひげ図を Fig. 4-3 に示した。偏心 0° の文字知覚閾の中央値は視角 $8.1'$ （四分位範囲 $5.8'$ ）、偏心 10° は $56.6'$ （四分位範囲 $16.7'$ ）、偏心 20° は $182.7'$ （四分位範囲 $57.2'$ ）であった。正規性と等分散性が十分に確認できなかったため、ウイルコクソンの符号付順位和検定を偏心度要因で行った。その結果、全ての偏心度で文字知覚閾の差は有意であった（ 0° vs 10° : $Z = 4.29, p < 0.0001, r = 0.62$; 0° vs 20° : $Z = 4.29, p < 0.0001, r = 0.62$; 10° vs 20° : $Z = 4.29, p < 0.0001, r = 0.62$ ）。

文字知覚閾の中心視と偏心視の比から偏心視の必要な文字の大きさを調べるため、偏心度と比を表した（Fig. 4-4）。偏心 0° と 10° の比は約 7 倍、 0° と 20° の比は約 23 倍であった。

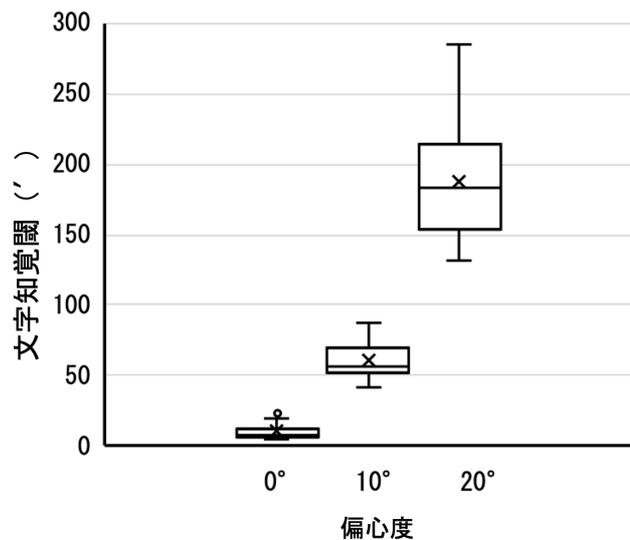


Fig. 4-3 各偏心度の文字知覚閾

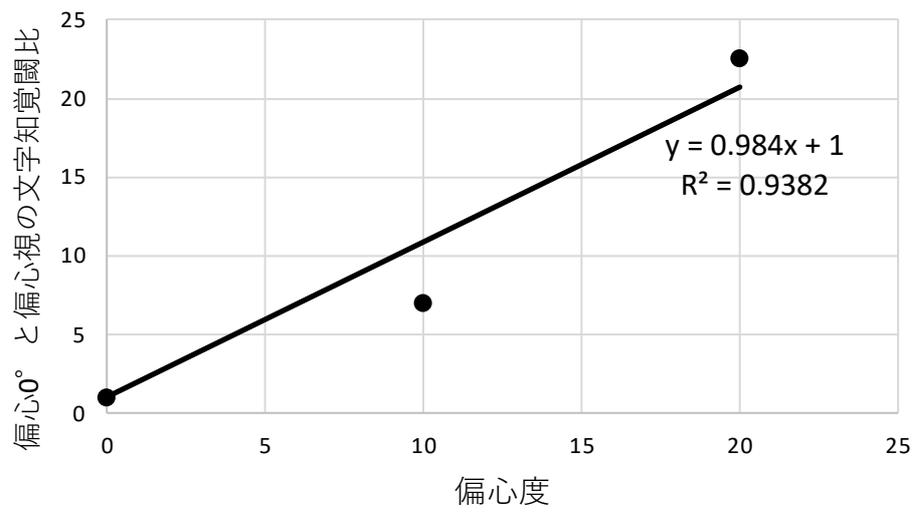


Fig. 4-4 文字知覚閾の比

第4節 考察

本研究では、従属変数を文字知覚閾とし、仮名1文字を提示時間150msで提示したときに正答率50%で認識できる文字サイズと定義した。各偏心度で知覚できる文字サイズが明らかにされ、偏心度が大きくなるほど文字知覚閾が大きくなった。偏心 20° の文字知覚閾は約 $3'$ であり、拡大率の目安にすることができる。Abdelnour and Kallpniatis (2001)は偏心 8° に85%のコントラストでアルファベット4文字単語を90ms瞬間提示した際の単語視力 (word acuity) は、結果のグラフからおおよそ $1.1 \log\text{MAR}$ ($\log\text{MAR}$ 値の5倍が文字サイズであるため (Whatham et al., 2006)、文字サイズは約 $63'$ (約1.1倍)) であることを示した。本研究では偏心 10° に仮名1文字を瞬間提示した結果、中央値は約 $1'$ であるため、先行研究と提示した文字数に違いはあるが必要な文字の大きさは近似した結果となった。提示時間200msでアルファベット1文字のスローン文字刺激を提示した結果、偏心 10° で約 $20'$ (約 0.3°) の文字サイズが必要であることがグラフから読みとれる (Zhang et al, 2009)。本研究は偏心 10° との差は2倍以上である。Zhang et al. (2009)は文字内の複雑度が増すほど大きい文字サイズが必要であることを示している。本研究の刺激は平仮名であり、スローン文字より構造が複雑であったことから本研究では知覚できる文字サイズが大きくなった考えられる。また、刺激の提示時間や偏心度が設定されていない場合の文字視力は小文字のアルファベットで $-0.12 \log\text{MAR}$ (視角約 $0.8'$ (約 0.01°)) であり、大文字のスローン文字の視力と有意差が確認されている (Whatham et al., 2006)。刺激の提示方法やアルファベット刺激の大文字、小文字によっても視力値は変動することがわかる。本研究の条件では、3つの偏心度で文字視力に近い文字知覚閾が明らかにされた。

本研究では、偏心 0° と各偏心度の文字知覚閾の比率の回帰直線では傾きが約1であり偏心度と比が同じくらいであった。これは Zhang et al. (2009)の「整」といった文字の複雑度が高い一文字を認識するよりも傾きが大きい結果であり、仮名のように文字の混雑度が少なくても大きい文字サイズが必要になる場合があることが示された。Zhang et al. (2009)は五肢強制選択法であり数字キーを押して回答したこと、誤答の聴覚フィードバックがあ

ったこと、刺激提示前にロケーションキューが点滅されたことなど本研究とは方法で異なる部分が多く、結果の差として現れた可能性がある。また Zhang et al. (2009) はフ 3 文字刺激で文字間のクラウディングがあると解像度が高くなり、より大きな文字サイズが必要になることを明らかにしている。今回は刺激 1 文字であったため、その影響について明らかにすることができず、今後の研究課題として混雑度の影響が課題として挙げられている。

本研究では偏心 0° で中央値視角 $8.1'$ (約 0.1°)、偏心 10° で中央値視角 $56.6'$ (約 0.9°)、偏心 20° で中央値視角 $182.7'$ (約 3°) の文字サイズが必要であり、偏心度ごとに仮名 1 文字を認識できる文字サイズが明らかにされた。第 1 研究と第 2 研究の結果から、弱視の人が使用している網膜位置から必要な文字サイズに検討をつけることができる。

第5章 偏心視の文字知覚の特徴（第3研究）

第1節 目的と仮説

偏心視と中心視の文字認識について多くの研究が行われている。Lee et al. (2003) は単語頻度ごとの正答率は偏心 0° と 10° は類似しているため、両偏心度の語彙処理の類似性を指摘している。Xiong et al. (2019) も単語の置換実験から中心視と偏心視で似ていたため、中心視と偏心視は同様の語彙ルートを辿る可能性を指摘している。これらの研究は英語で行われているため本研究では、日本語でも中心視と偏心視の文字知覚について明らかにすることを目的にした。偏心 0° 、 10° 、 20° で仮名有意味語・漢字有意味語・仮名無意味語刺激を提示し、音読潜時および正答数を測定して、中心視と偏心視の漢字・仮名の読みの特性を明らかにする。

本研究では、第1および第2研究から明らかにされた文字サイズを使用しているが、Chung et al. (1998) が文字を大きくしても偏心視の最大読み速度は晴眼者より低下することを明らかにしている。本研究では第1研究の実験より文字数を増やし4文字の仮名刺激を扱っている。よって、この研究の仮説として、偏心視は低解像度であるため文字サイズを中心視より大きくしたとしても仮名4文字刺激の正答数は中心視より少なくなることが考えられる。偏心視では仮名と無意味語の正答数が有意に少ないのであれば今回設定した提示時間 250ms では無意味語を正確に音韻化するまでの処理が終わらないと考えられる。馴染みある単語とそうでない場合に処理の遅延が発生することを示すと考えられる。

本研究では親密度の高い仮名と漢字単語を用いた。それゆえ仮名刺激が極端に意味情報にアクセスしにくいというわけではなく、それぞれの刺激の中で意味経路のアクセスの仕方は統制されていたと考えられる。つまり、この研究では仮名と漢字に音読潜時の差があれば、文字形態による音韻化の差を表していると考えられる。本研究も Yamada (1998) や Dylman and Kikutani (2018) のように中心視で仮名と漢字の潜時の差があると考えられ、偏心視でも同様の差があるのであれば、偏心視は中心視と同じように仮名が漢字より音韻へのアクセスが速い可能性が考えられる。

第2節 方法

第1項 研究参加者

参加者は大学生 18 名であった。年齢は 20.5 ± 1.3 歳であり、実験は優位眼の片眼 18 眼で行われた。本研究の目的、方法、倫理的配慮、結果処理、研究参加の辞退自由について研究者から書面と口頭により説明を受け、同意書に同意を示した者を対象とした。第3研究も第2研究と同様に、眼鏡を装用している人を対象とせず、裸眼またはコンタクトレンズを装用している人を対象とした。両眼近見視力は Logarithmic Visual Acuity Chart Landolt “C” (Precision Vision Inc.) を用い、視距離 40cm で測定された。参加者の近見視力は 0.9～1.0 であった。参加者のデコーディング機能に関する厳密な評価を実施していないが、練習試行で仮名 2 モーラは最大 905.8ms、4 モーラは最大 906.4ms であることを確認し、本実験で課す課題に十分に対応できることを確認している。

第2項 研究デザイン

偏心度 (0° 、 10° 、 20°) × 文字種 (仮名無意味語・仮名・漢字) × モーラ数 (2 モーラ・4 モーラ) の 3 要因参加者内要因計画法であった。各条件で音読潜時と正答率を測定した。音読潜時は刺激が提示されてから音声を発するまでとし、刺激制御装置である Multi Trigger System (メディカルトライシステム) に音声スイッチを取り付け、反応時間を測定した。音読潜時の分析では正答した音読潜時のみを採用し、条件ごとに平均した。正答率は各条件で提示した 20 試行中、正答した単語数を数えた。正答の基準は、4 モーラの場合 3 文字 (モーラ) 以上が正しく発音できることとし、2 モーラは 2 文字が正しく発音できていれば正答とした。第1・2研究と同様に偏心視の刺激は下部視野に提示した。本実験は、広島大学教育学研究科倫理審査委員会の承認を受け実施された (承認番号 2019512)。実験実施期間は 2020 年 9 月 15 日～11 月 27 日であった。

第3項 刺激

仮名無意味語は平仮名の清直音 46 文字をランダムに並べて 2 モーラと 4 モーラの刺激を作成した。仮名刺激および漢字刺激は NTT データベースシリーズ「日本語の語彙特性」(佐久間・伊集院・伏見・辰巳・田中・天野・近藤, 2005) の単語心像性データベースから抽出した。単語心像性データベースに収められている単語は主に同シリーズの単語親密度データベースの親密度 4 以上の単語が選定されており、一定の親密度を保っている。本研究では心像性が 4 以上の名詞を抽出した。書き言葉の単語の親密度や心像性は統制されているが、音声で読み上げるときの親密度(音声単語親密度)は統制されていないため刺激を読むための予備実験を、2020 年 6 月 19 日から 7 月 3 日に大学生 10 名(年齢 18.5 ± 0.5 歳)を対象に実施した。予備実験に参加した人は第 3 研究に参加はしていない。当時、新型コロナウイルスの影響により大学に入構規制があったため Zoom (Zoom Video Communications, Inc.) を使用して予備実験を行い、10 名中 9 名以上が単語の音読潜時 1 秒以内であった単語を刺激として採用した。

視距離は偏心 0° で 150cm、偏心 10° で 60cm、偏心 20° で 50cm であった。第 1・2 研究と同様に偏心視の刺激は画面の下方に提示した。平仮名の刺激である仮名・無意味語の文字サイズは第 2 研究の文字知覚閾より約 $0.2 \log \text{ unit}$ 大きいサイズに設定し、偏心 0° は $16.5'$ (約 0.3°)、偏心 10° は $95.7'$ (約 1.6°)、偏心 20° は $296.3'$ (約 4.9°) で設定した。第 1 研究の偏心 0° の仮名と漢字の比から、本研究の漢字刺激では仮名の約 1.3 倍大きくした $21.3'$ (約 0.4°) を使用し、第 2 研究結果の偏心 0° と 10° の比、偏心 0° と 20° の比から偏心 10° の漢字文字サイズは 0° の約 6 倍の $135.0'$ (約 2.3°)、偏心 20° は 0° の約 20 倍の $416.0'$ (約 6.9°) を採用した。それぞれの文字サイズを表にまとめた (Table 5-1)。

Table 5-1 各条件の文字サイズ

偏心 0°		偏心 10°		偏心 20°	
仮名・無意味語	漢字	仮名・無意味語	漢字	仮名・無意味語	漢字
16.5'	21.3'	95.7'	135.0'	296.3'	416.0'

第4項 手続き

練習試行で回答方法と偏心視で刺激を捉える方法を確認した。刺激の提示方法は、1) 注視点「+」を1,000ms提示、2) 1～5までの数字一つを注視点と同位置に1,000ms提示、3) 白紙画面を50ms提示、4) ターゲット刺激を250ms提示し、5) 白紙画面を3,000ms提示し、参加者は2)の数字と4)の刺激を口頭で回答した。刺激の提示方法をFig. 5-1に示した。回答方法は例えば「あいさつ、5」のように刺激、数字の順であった。刺激を捉えられなかった場合「なし、5」のように答え、刺激の一部のみ見えた場合は、「あい・つ、5」のように見えた文字を全て回答するよう教示した。参加者はターゲット刺激を回答する際にイントネーションや意味は考慮せずに、できるだけ速く声に出して読むように教示した。刺激は、モーラ数(2モーラ・4モーラ)×3偏心度(0°、10°、20°)×文字種(仮名無意味語・仮名・漢字)×20試行=360試行であった。

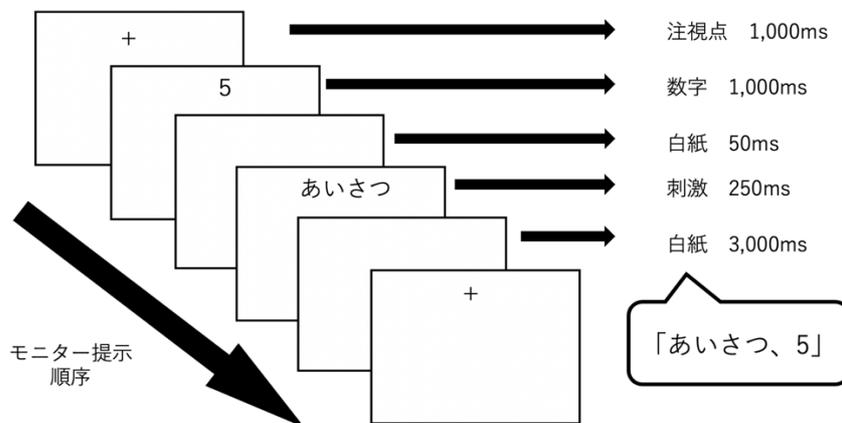


Fig. 5-1 第3研究の刺激提示例(偏心0°/仮名刺激/4モーラ)

第5項 装置

刺激はモニター(ASUS、VG255H、24.5インチ、1,920×1,080)に提示された。刺激の提示時間を確かめるため、デジタルビデオカメラ(カシオ、Exilm EX-100F、解像度224×64、1,000fps)で測定したところ偏心0°は実測値250.8±0.001ms、偏心10°は実測値252.4±

0.001ms、偏心 20° は実測値 $252.2 \pm 0.001\text{ms}$ であり、刺激提示モニターの上部と下部で最大 2ms の差であった。モニターの 5 箇所文字色と背景色の輝度を輝度計で測定した結果、マイケルソン・コントラストは 0.98 ± 0.06 であった。実験終了後の結果も同程度であった。照度計 (TENMARS ELECTRONICS、TM-209M) で測られた照度は、実験前に眼の位置で 3 回測定され、平均 $1,042.3 \pm 39.3 \text{ lux}$ であった。実験室は閉鎖された空間の明室で、参加者は顎台に顔を固定して視距離を保った。

確実に偏心視で刺激を提示することへの精度を高めるため、第 3 研究では EOG を使用して固視状況の確認を行った。偏心視で刺激を捉えていることを確認するため、注視点の固視状況をビデオカメラ (Panasonic、HC-VX992M) と EOG (electrooculogram) (Cambridge Research Systems Ltd、BlueGain EOG Biosignal Amplifier) を使用した。EOG は開放眼の上下に一つずつと額の中心に 1 つ電極を貼りサンプリングレート 1,000Hz で眼の動きを観察した。刺激が提示されている間、波形が平坦になっていれば注視点を正しく注視しているとみなし、眼の動きがあれば刺激を見ているとみなし分析対象から除外した。また、刺激が提示されたタイミングで瞬きが確認された場合も分析対象から除外した。全体で除外数は 147 試行 (全体の 4%) であった。注視点を正しく注視できている例を Fig. 5-2 に示した。

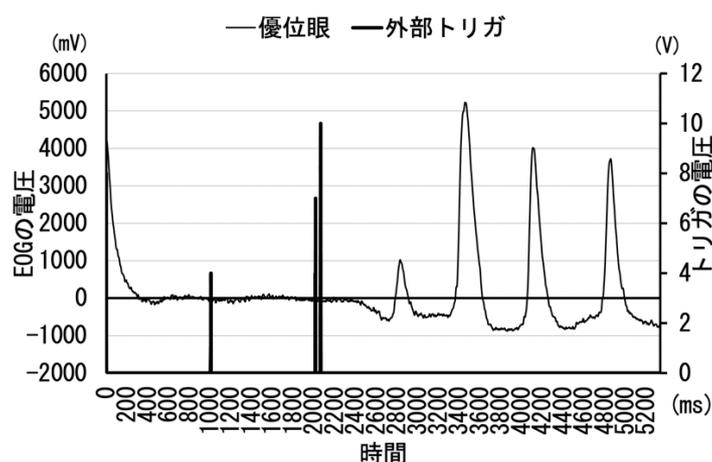


Fig. 5-2 EOG による眼の動き

第 6 項 分析方法

音読潜時において正規性と等分散性を確認したのち、偏心度・文字種・モーラ数の 3 要因参加者内分散分析を行った。正答数は天井効果により正規性が十分に確認できなかったため、偏心度・文字種の要因でフリードマン検定を行い、有意差が確認されたため多重比較を行った。

第3節 結果

第1項 正答数

各条件の正答数をグラフで示した (Fig. 5-3)。正答数は最大で20個であり、偏心0°は全ての参加者で高い正答率であり天井効果により正規性が確認されず、グラフは箱ひげ図で表した。グラフは偏心視であると正答数が下がり、特に無意味語4モーラの正答率の低下が著しかった。偏心度の差をフリードマン検定により確認した。その結果、2モーラ仮名における偏心度は有意 ($\chi^2 = 16.27, df = 2, p < 0.001$)、2モーラ漢字における偏心度は有意 ($\chi^2 = 22.29, df = 2, p < 0.001$)、2モーラ無意味語における偏心度は有意 ($\chi^2 = 18.85, df = 2, p < 0.001$) だった。4モーラ仮名における偏心度は有意 ($\chi^2 = 16.44, df = 2, p < 0.001$)、4モーラ漢字における偏心度は有意 ($\chi^2 = 20.90, df = 2, p < 0.001$)、4モーラ無意味語における偏心度は有意 ($\chi^2 = 32.44, df = 2, p < 0.001$) だった。ウイルコクソンの符号付順位和検定の多重比較の結果、2モーラ仮名における0°と10° ($p < 0.001$)、0°と20° ($p = 0.002$)、2モーラ漢字0°と10° ($p = 0.003$)、0°と20° ($p < 0.001$)、2モーラ無意味語0°と10° ($p < 0.001$)、0°と20° ($p < 0.001$) で有意差が確認された。4モーラ仮名0°と10° ($p < 0.001$)、0°と20° ($p < 0.001$)、4モーラ漢字0°と10° ($p < 0.001$)、0°と20° ($p < 0.001$)、4モーラ無意味語0°と10° ($p < 0.001$)、0°と20° ($p < 0.001$)、10°と20° ($p < 0.001$) で有意差が確認された。

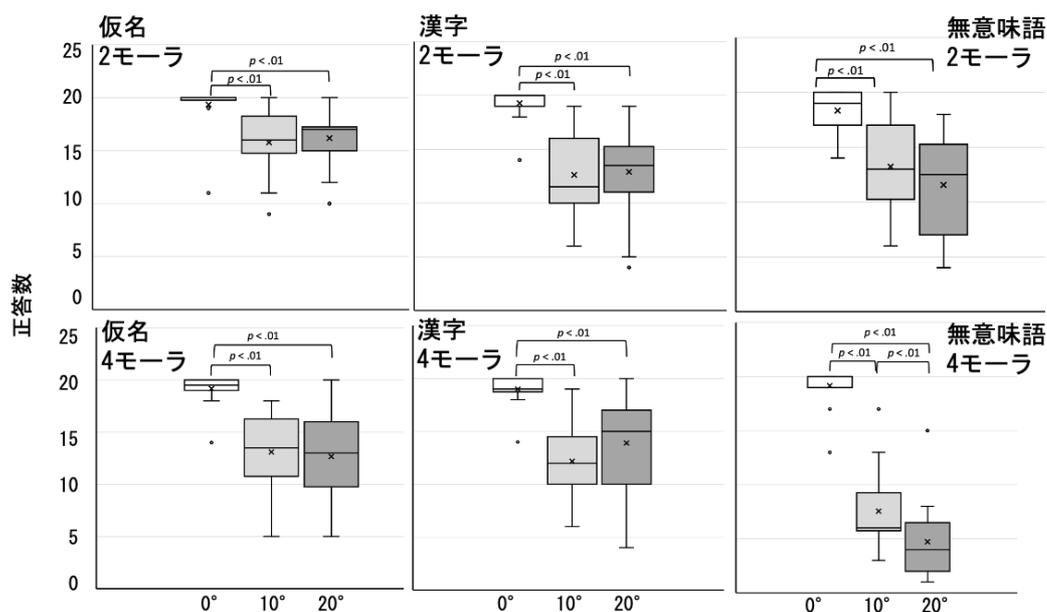


Fig. 5-3 各モーラ数の文字種ごとの正答率

各条件の偏心度におけるウイルコクソンの符号付順位和検定の結果を表す。

第2項 音読潜時

仮名刺激と漢字刺激を分析するため、全ての条件で正答率が半数を超えていた参加者8名の音読潜時を分析対象とした。この8名の仮名練習試行の音読潜時は平均 593~723ms、4モーラは 504~768ms でその幅は 200ms 程度であった。各偏心度の文字種およびモーラ数条件の音読潜時の差を検討するため偏心度ごとに分散分析を行った。主効果および交互作用 ($\alpha = 0.05$) と単純主効果 ($\alpha = 0.15$) について記す。偏心 0° において文字種の主効果が有意であり ($F(1, 7) = 17.146, p = 0.004, \eta_p^2 = 0.71$)、モーラ数の主効果が有意であり ($F(1, 7) = 7.473, p = 0.029, \eta_p^2 = 0.516$)、交互作用が有意であった ($F(1, 7) = 6.034, p = 0.043, \eta_p^2 = 0.463$)。文字種の単純主効果は2モーラにおいて有意であり ($F(1, 7) = 24.392, adjusted\ p = 0.006, \eta_p^2 = 0.777$)、モーラ数の単純主効果は漢字において有意であった ($F(7, 7) = 10.858, adjusted\ p = 0.026, \eta_p^2 = 0.608$)。偏心 10° において文字種の主効果が有意傾向であり ($F(1, 7) = 5.463, p = 0.052, \eta_p^2 = 0.438$)、モーラ数の主効果が有意でなく ($F(1, 7) = 0.71, p = 0.427,$

$\eta_p^2 = 0.092$)、交互作用が有意であった ($F(1, 7) = 16.863, p = 0.004, \eta_p^2 = 0.707$)。文字種の単純主効果は2モーラにおいて有意であり ($F(1, 7) = 10.425, adjusted\ p = 0.057, \eta_p^2 = 0.598$)、モーラ数の単純主効果は仮名において有意であった ($F(7, 7) = 4.933, adjusted\ p = 0.123, \eta_p^2 = 0.413$)。偏心 20° において、文字種の主効果が有意でなく ($F(1, 7) = 1.694, p = 0.234, \eta_p^2 = 0.195$)、モーラ数の主効果が有意でなく ($F(1, 7) = 0.654, p = 0.445, \eta_p^2 = 0.085$)、交互作用が有意であった ($F(1, 7) = 16.805, p = 0.004, \eta_p^2 = 0.706$)。文字種の単純主効果は2モーラにおいて有意であり ($F(1, 7) = 5.573, adjusted\ p = 0.1, \eta_p^2 = 0.443$)、モーラ数の単純主効果は仮名において有意であり ($F(7, 7) = 9.379, adjusted\ p = 0.073, \eta_p^2 = 0.573$)、漢字においても有意であった ($F(7, 7) = 3.683, adjusted\ p = 0.128, \eta_p^2 = 0.345$)。これらの結果についてグラフに示した (Fig. 5-4)。

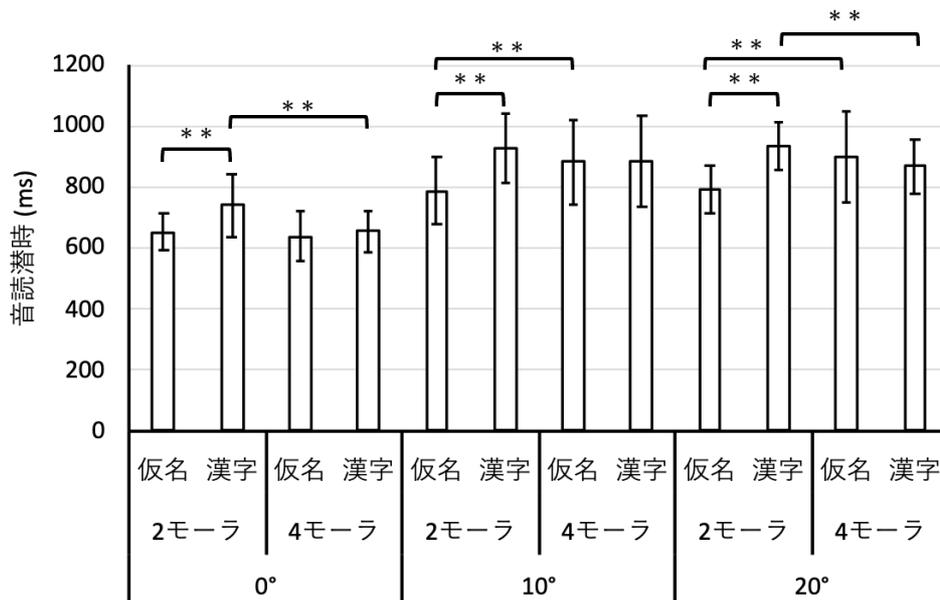


Fig. 5-4 仮名・漢字条件の音読潜時の結果

偏心度ごとに2要因参加者内分散分析を行い、単純主効果の結果を表す。

** : $p < 0.01$

第4節 考察

第1項 正答数

まず、正答数に与える偏心度の効果を検討した。その結果、全てのモーラ数×文字種で 0° と 10° および 0° と 20° の間に有意差が確認された。無意味語4モーラのみ 10° と 20° で有意差が確認された。この結果から偏心視で無意味語を処理することは中心視より負荷が高く、特に文字数の影響を受けることが考えられる。本研究では研究1・2に応じて各偏心度で提示する文字サイズを決定したが、研究1・2では扱われなかった4文字の刺激がありクラウディング効果を考慮してより大きい文字サイズが必要であったまたは長い提示時間が必要であった可能性がある。そもそもビジュアル・スパンを考慮すると提示時間250msでは文字の認識率は高くはなく (Legge et al., 2001)、トップダウン処理が効かない無意味語では一文字一文字を正確に認識する必要があるため、認識に時間がかかり提示時間の影響を強く受けた可能性がある。トップダウン処理の効く有意味語であれば、当該単語を構成する文字の処理が賦活化されるため文字の推測により平仮名4文字であっても心的辞書との適合により4文字の無意味語より4文字の仮名の方が短時間で認識することができたと考えられる。RSVPのように文脈がある状態の単語認識においては Legge et al. (2001)の文字エンコードモデルのように、停留箇所の文字認識の正確性は高く、停留から離れるほど文字の正確性は低くなる可能性がある。このモデルによると単語内をもう一度停留することでより正確な文字認識が可能となり、心的辞書内と認識できた単語の照合を行い、正しい単語がわかると考えられている。偏心視の場合、文字を拡大しても偏心の網膜特性により短い提示時間で文字を正確に捉えることは難しいかもしれない。しかし、文字エンコードモデルによると単語内の停留数を増やし、心的辞書と照合すればより正確な単語認識が可能になるはずだ。本研究はサッケード潜時未満の提示時間であったため2回目の停留ができず、有意味語であっても中心視より正答数が有意に少なくなったと考えられる。偏心視は低解像度であり文字を大きくすると認識できる文字の範囲に限りがあるため必然的に停留回数は増え、読みに時間がかかると考えられる。まとめると、日本語で

も偏心視は文字の正確性などの影響により文字認識に時間がかかる可能性があり、偏心視の読みに多くの時間がかかることから支持される (Chung et al., 1998)。

Fig. 5-3 からわかるように全体的に偏心視は最大値から最小値までのばらつきが大きくなっている。モーラ数に限らず、仮名刺激や漢字刺激であれば正答数が多い参加者もあり、最大値の 20 個を達成した参加者もいる。中心視ではどの条件でも非常に高い正答率であることがわかる。しかし、無意味語 4 モーラの正答数は偏心 10° で中央値 6 個、偏心 20° で中央値 4 個と低くなっている。つまり、中心視は文字種やモーラ数に関わらず実験で設定した文字サイズや提示時間で十分に認識し音声で再生するだけの処理が可能であった。一方偏心視では、無意味語 4 モーラを除き、参加者によっては設定した提示時間 250ms、文字の大きさを十分な認識が可能であったが、正答数が半数以下である人もおり文字の認識が困難であった人もいた。文字サイズの拡大または提示時間の延長により偏心視での文字の認識精度を向上できる可能性が残されている。本研究では晴眼者に擬似偏心視状態で文字を読むことを課したため、日常的に中心視で文字を読んでいるであろう参加者にとっては慣れの影響により偏心視の文字認識が難しかった可能性がある。Whatham et al. (2006) は 1 文字、4 文字、7 文字、10 文字の小文字単語による視力視標を作成し、視力を測定したところ視力値に有意差がないことを報告している。中心視は文字長の効果を受けにくいことがわかる。よって、本研究の中心視の正答数は仮名 2 文字で 20 個、仮名 4 文字で 19.5 個であったことは Whatham et al. (2006) の結果を支持している。今後、提示時間を独立変数にすることや、偏心視の当事者と中心視をする人に課題を課すことでより正確な文字処理が明らかになる可能性がある。

第 2 項 音読潜時

本研究では偏心視で文字種およびモーラ数の主効果は確認されなかった。各偏心度において、文字種の各水準におけるモーラ数の単純主効果は、偏心 0° は有意ではなく、偏心 10° および 20° では有意であった。仮名におけるモーラ数の影響について、偏心 0° では

三盃ら（2011）のように文字長効果が潜時に影響すると予想していたが、本研究では有意差を確認できなかった。三盃ら（2011）と対象年齢が異なっただけが影響している可能性もある。一方、偏心視において仮名の語長効果は確認された。偏心視では偏心 0° では4文字程度までの語長であれば文字の処理に有意な影響をもたらさないが、偏心 10° および 20° では影響があることを示した結果といえる。偏心度が上がると語長効果がみられやすいことは偏心視を強いられる弱視の人たちの読みの困難さを示す根拠となる。これを原因として偏心度による網膜の解像度の影響や文字処理ルートの影響などが推測できる。それらの詳細な考察は更なる研究が必要であるが、ビジュアル・スパンを取り扱った研究から、語長による文字間のクラウディング効果の観点から検討を試みることができる。例えば、He et al. (2018b) は1文字と3文字の英語とハングル語のビジュアル・スパンを測り、1文字より3文字のビジュアル・スパンが小さく、英語より一文字が複雑であるハングル語の方が1文字および3文字のビジュアル・スパンが小さくなる結果を報告している。その原因として、文字数（語長）が増えたことおよび文字間クラウディングの増加による文字位置の所得における正確性の低下を挙げている。本研究においても、He et al. (2018b) の研究のように、文字数の増加に伴うビジュアル・スパンの低下が生じた中で音読を課したことにより、語の音声化までの時間が延長したことが考えられる。

同じ語長において、文字内のクラウディングを操作した結果、全ての偏心度において、2文字の仮名の音読潜時は漢字よりも有意に短かった。2モーラ条件は、仮名・漢字共に2モーラであった。2モーラで文字種の効果を確認されたのは、Yamada (1998) や Dylman and Kikutani (2018) と同様の結果である。仮名の文字処理は意味符号化が浅く、漢字は仮名より意味符号化が深いと考えられており（篠塚・窪田, 2012）、漢字を音韻化することは仮名を音韻化するよりも時間を要すると考えられているため（Yamada, 1998; Dylman & Kikutani, 2018）、本研究でも漢字の音読潜時が長くなったと考えられる。全ての偏心度で同様の音読潜時の大小関係がみられたが、偏心視は解像度の影響により漢字の音読潜時が長くなった可能性があり偏心視の文字知覚については更なる研究が必要である。全ての偏

心度で4モーラは文字種の効果が確認されなかった。偏心視は仮名の語長効果と仮名より複雑な漢字の知覚負荷が音読潜時に与える影響が同程度であったと考えられる。もともと仮名は漢字より音読潜時は短い、語長効果の影響が大きいということは偏心視では文字間クラウディングの影響が大きいことが予想される。つまり2モーラと4モーラの結果を合わせると、先行研究の結果と同様に偏心視は文字内クラウディングと文字間クラウディングが与える影響が相互に影響を及ぼしていると考えられる。

第3項 まとめ

本研究では以下のことが明らかにされた。

- ・文字サイズを各偏心度で設定しても、本研究で設定した条件では偏心視の文字認識精度は中心視より下がることが示された。特に偏心視は無意味語の正答数が少なく、語句推論は認識精度にも重要である可能性がある。
- ・偏心視は正答数のばらつきが大きく、参加者によって文字認識精度に差が生じた。今後、提示時間など他の要因が関係していることも考慮し、偏心視の文字サイズについて検討する必要がある。
- ・音読潜時の結果から偏心視では語長効果による文字間クラウディングと文字自体の複雑度である文字内クラウディングが知覚に影響を与えている可能性がある。

第5節 第1部の総合考察

第2章では、晴眼者の大学生・大学院生を対象に中心視と偏心視の認識可能な文字サイズと文字処理の基礎的研究を行った。第1研究と第2研究では各偏心度における視知覚に必要な文字サイズについて明らかにした。先行研究との比較でも明らかのように、アルファベットと仮名という文字の種類が変わると文字サイズに大きく影響を受けるため、本研究では擬似偏心視状態で視知覚に必要な文字サイズを示すことができた。Zhang et al. (2009) は文字の複雑度が大きくなるほど文字サイズに影響を与えることを明らかにしている。一般的に仮名より漢字の方が画数が多いため、必然的に複雑度は高くなり漢字は文字内クラウディングの影響は大きくなることが予想される。本研究では、漢字の画数が多いことからクラウディング効果も大きく、第1研究では仮名より漢字の方が大きい文字サイズが必要であることが示された。これは、文字サイズを大きくすることが線と線の間隔が広がりクラウディング効果が減少することが要因であると考えられる。この結果は Zhang et al. (2009) の中国語漢字の複雑度が文字サイズに影響を与えていることと同じである。

第3研究では文字処理について中心視と偏心視を比較するため仮名と漢字刺激および仮名無意味語を用意して正答率と音読潜時を測定した。第1・2研究から第3研究の文字サイズを設定したため、条件によって正答数に有意差があることを仮説に挙げていなかった。しかし、結果では仮名は漢字より正答数が有意に少なく、無意味語4モーラは特に偏心度の影響を受けることが示された。これらのことにより、文字数が増えると文字間クラウディングの効果が増大し、より大きな文字サイズが必要であることおよび提示時間を長くして時間特性の効果を減らす必要があると考えられる。これらの状況は Legge et al. (2001) と同様であり、教育場面で、偏心視で文字を読む児童生徒には文字サイズだけでなく、提示する時間についても考慮する必要がある。また、無意味語の正答数が低かったことにより、偏心視では特になんとなく文字の形をとらえたら語句を予測する力が重要であると考えられる。つまり、心的辞書の語彙数を増やすことや読書をする時間を増やして文字に慣れることが文字を速く読む上で重要になる可能性がある。

第2部 弱視の読み速度向上に向けた 読みトレーニング研究

第6章 偏心視の高校生・大学生を対象にした読みトレーニング効果(第4研究)

第1節 目的

弱視のある人は晴眼者と比べ読み速度低下が懸念されている。弱視の中でも中心暗点の有無や透光体の混濁の有無が読み速度低下に影響を与えている (Legge et al., 1985b)。網膜の黄斑の視力は最も高く、中心暗点により中心視力が損なわれ、偏心視になると視力が大幅に低下する。賞味期限の確認や説明書・書類を読むなど、読む行動は仕事や学業、趣味、日常生活上欠かせない行動であり、読み速度向上は QOL の向上にとっても重要である。

日本では弱視のある人対象に読み速度向上を目的とした知覚学習の効果に関する研究は少なく、基礎的な研究に留まっている。知覚学習とは「実践または経験した後の、刺激配列の知覚における比較的永続的で一貫した変化」と定義されている (Gibson, 1963)。英語やハンブル語等を用いた知覚学習による読み速度向上を目的とした研究は進められているが (Chung, 2021; He et al., 2018a)、それらの表音文字体系による言語と表音文字や表意文字が混在した日本語では先行研究の結果が必ずしも日本語に汎用できるとは限らない。そこで、本研究の目的は視覚障害のある人に日本語を用いた知覚学習メソッドに基づいた読みトレーニングを行い、読み速度の変化を測ることで、読みトレーニングの検討を行うことである。

第2節 方法

第1項 研究参加者

研究参加者は中心暗点の影響により偏心視を使用している視覚障害者2名であり、縁故法で読み速度の向上を希望する人を募った。参加者Aは先天性、参加者Bは後天性視覚障害がであった。研究は両眼で行った。参加者は研究前にインフォームドコンセントを受け、同意書にサインした者であった。未成年者は保護者と共に来学し、研究の説明後、両者から同意をもらった。研究手順は広島大学人間社会科学研究科教育学系プログラム倫理審査合同委員会の承認を受け実施され（承認番号：2021034）、世界医師会の倫理規定（ヘルシンキ宣言）に従って実施された。日常的に屈折矯正の眼鏡を装用している者は、トレーニングおよび読み速度測定中も装用した。参加者の視覚的特性を以下に示す（Table 6-1）。

Table 6-1 参加者の基礎情報

ID	性別	年齢 (歳)	疾病	小数視力			偏心度		発症してから
				両眼	右眼	左眼	右眼	左眼	
A	男	17	両眼錐体・桿体ジストロフィー	0.1	0.07	0.07	8°	8°	17年
B	男	20	レーベル遺伝性視神経症	0.06	0.02	0.03	25°	22°	5年

第2項 研究デザイン

基本的な実験計画は読みトレーニング1および2で構成されており、トレーニング1および2の初日と最終日にそれぞれプレテストとポストテストが実施された。プレテストおよびポストテストは約2時間、トレーニング時間は約1.5時間から2時間であった。読みトレーニング1および2を行い読み速度の変化を調べた。トレーニング1は連続した4日間で最終日から1週間のインターバルの後、トレーニング2が連続した4日間で実施された。読みトレーニング1のトレーニング内容は、無意味語・仮名有意味語・漢字有意味語

刺激 12 セッションで構成された。読みトレーニング 2 の内容は、RSVP トレーニングの 12 セッションで構成された。Fig. 6-1 に研究計画の概略図を示した。プレテストおよびポストテストで 1) RSVP 法の読み速度測定（臨界文字サイズと最大読み速度を算出）、2) ページリーディング法の読み速度を測定した。トレーニング 1 の初日に視機能評価として視力が測られた。研究実施期間は 2021 年 7 月～8 月であった。

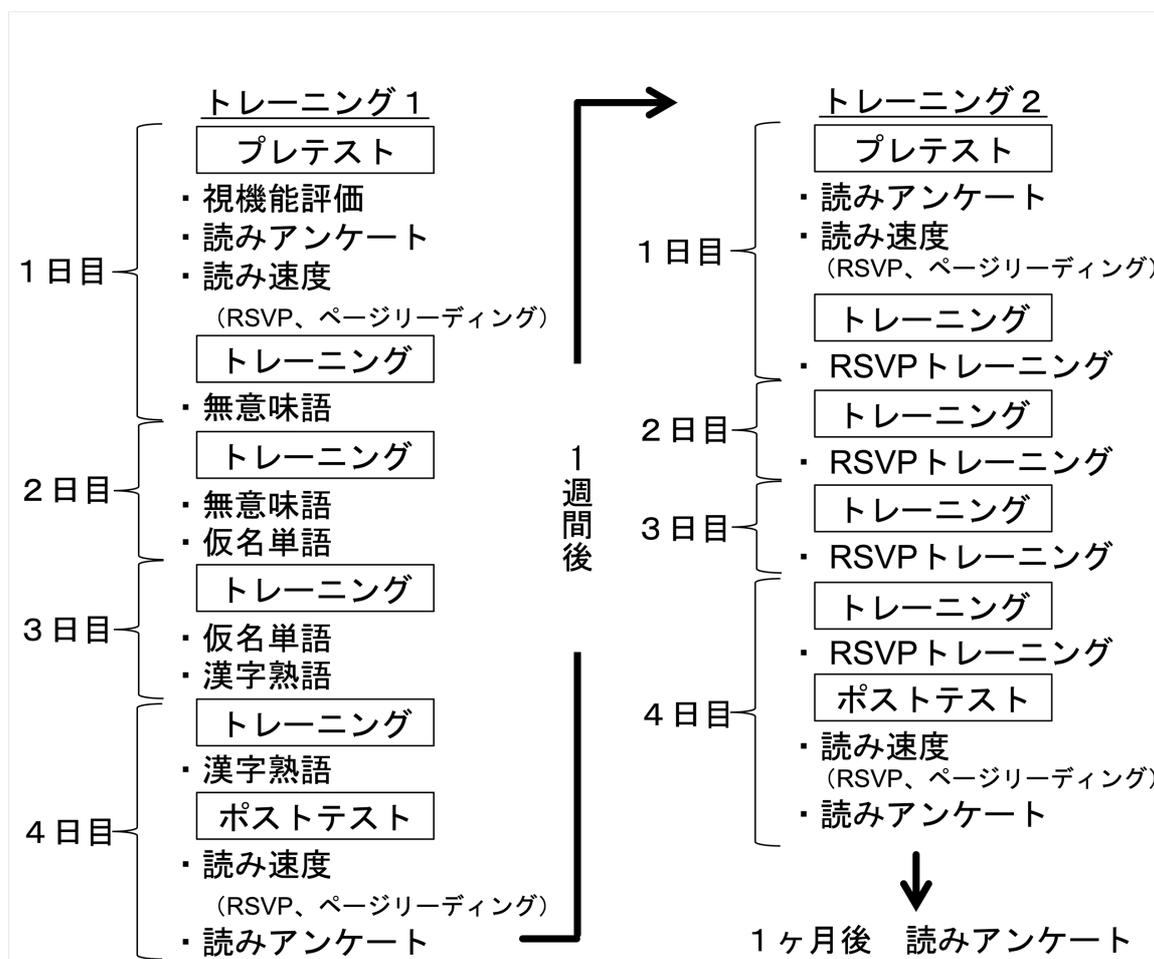


Fig. 6-1 読みトレーニングの手続き

第 3 項 刺激と実施方法

1. 読みトレーニング 1

トレーニング 1 では、仮名や漢字を用いた瞬間提示を行った。読みトレーニングに瞬間

提示を用いたのは、Chung (2021) と同様であり、文字の処理速度を高めることが期待されている。トレーニング材料として無意味語刺激、仮名单語刺激、漢字熟語刺激を使用した。無意味語刺激はランダムに並んだ 3 文字の仮名を使用した。有意味語仮名刺激は NTT データベースシリーズ「日本語の語彙特性」(佐久間ら, 2005) の単語心像性データベースから名詞や動詞など、文字心像性が 4 以上の仮名 3 文字の単語を、漢字刺激は 5 以上の 2 字熟語を抽出した。トレーニング刺激の読みやすさを統制するため、広島大学に在籍する大学生および大学院生 6 名に仮名刺激および漢字刺激を 1 刺激ずつ提示し、音読潜在時間が 1 秒以内の単語をトレーニング刺激として使用した。抽出した仮名单語の平均心像性は 5.0 ± 0.7 、漢字熟語の平均心像性は 5.49 ± 0.31 、トレーニング刺激例を Table 6-2 に示した。

トレーニング 1 は各刺激群の 12 セッションで構成され、連続した 4 日間で実施された。1 セッションは 50 試行であった。トレーニングは、初めに推論を伴わない文字処理速度を高めることを狙いとしたため、無意味語を実施し、その後、仮名刺激、漢字刺激と続いた。参加者は 1 セッションごとに短い休憩をした。モニターの左側中央に「##」が表示され、同位置に設定された提示時間で刺激が提示された。その後白紙画面に切り替わり、参加者は見えた文字を音読した。刺激の全文字を正しく読めた場合に正答とし、実験者は正誤を記録した。刺激の文字サイズは各参加者の臨界文字サイズより $0.1 \log \text{unit}$ 大きいサイズとし、提示時間はそれぞれの最大読み速度の $0.1 \log \text{unit}$ 大きい時間とした (例えば、最大読み速度 $+0.1 \log \text{unit}$ が 94 文節/分だった場合に単位の分を秒に換算し、提示時間は、 $1/(94/60)=0.64$ 秒となる)。Chung (2021) と同様に、1 セッションの正答率が 80% 以上になると、提示時間は $0.1 \log \text{unit}$ 短くなった (例えば、提示時間 0.64 秒から 0.5 秒)。

Table 6-2 トレーニング刺激例

無意味語刺激		仮名刺激		漢字刺激	
かろわ	ひみす	つらら	いろり	昆虫	父親

2. 読みトレーニング 2

トレーニング 2 は、一文を一文節ずつ提示する RSVP が用いられた。トレーニングの刺激は序論に示した RSVP 読み速度と同じ方法で作成され、一文あたりの文節数や漢字の含有率が揃えられた。参加者は、文が提示されている最中や文が提示され終わった後に見えた文字を音読した。一文節中の文字を正しく読めたら正答とし、実験者は正誤を記録した。文節の正答率 80% を超えたら提示時間は 0.1 log unit 短くした。トレーニング刺激と読み速度の刺激は異なり、刺激は重複して提示されることはなかった。トレーニングは 12 セッションで構成され、連続した 4 日間で実施された。1 セッションは 30 試行であった。トレーニング時間や休憩、文字サイズ、提示時間などはトレーニング 1 と同様であった。文字サイズや提示時間の設定基準となる最大読み速度や臨界文字サイズはトレーニング 2 のプレテストで計測した値を採用した。

第 4 項 手続き

参加者から事前に近隣の眼科においてゴールドマン視野計で計測された視野の結果を郵送してもらい、眼科医と視能訓練士と共に参加者が文字を読むことに使用していると考えられる網膜位置を決め、読みやすい文字サイズにあたりをつけた。第 1 部の研究 1、2 の結果から参加者の偏心度で認識できる文字サイズを予測し、RSVP 読み速度を測る際の文字サイズの指標とした。トレーニング 1 の視機能評価は、近距離視力単独視標（はんだや社製）を用い、左右の片眼と両眼の近見視力を測定した。読みのアンケートは、トレーニング開始前後および 1 ヶ月後に、トレーニング効果の自覚やトレーニングの改善点などを聞いた。アンケートは眼の負荷を減らすため、項目を実験者が読み上げ、参加者が口頭で回答する方法で実施された。アンケート項目を Table 6-3 に示す。1 ヶ月後のアンケートはメールで回答された。

Table 6-3 読みアンケート

トレーニング1		トレーニング2		1ヶ月後
プレテスト	ポストテスト	プレテスト	ポストテスト	
・今の見え方	・読みが速くなったか	・読みの変化や気づき	・読みが速くなったか	・読みやすさの変化
・眼疾患名	・読みが楽になったか		・読みが楽になったか	
・普段の読書時間	・トレーニングの負担の有無		・トレーニングの負担の有無	
・読書時の視覚補助具	・トレーニング時間の長さ		・トレーニング時間の長さ	
・読書をするのは好きか	・文字の読みやすさの変化		・文字の読みやすさの変化	
・読む速さはどうか	・無意味語、仮名、漢字の見やすさ			
・文字を速く読めるようになりたいか	・トレーニング刺激の文字数の影響			

第5項 装置

プレテスト、読みトレーニング、ポストテストは同じ装置を使用して実行された。MacBook Pro (Apple Inc.) を使用して刺激を生成し、PsychoPy 2021.2.1 (Open Science Tools Ltd.) を使用して研究手順を制御した。モニター (ASUS) に反応速度 1ms で 1,600×900 ピクセルの解像度で刺激を表示した。輝度は輝度計 (KONICA MINOLTA Inc., LS-100) で開始前後に計測された。モニターの中央および4つ角に文字と同じ黒色の四角と背景と同じ白色を提示し、実験開始前後に3セットずつ輝度を測り、それぞれを平均した。開始前のマイケルソンコントラストは 0.90 ± 0.12 だった。同じように実験終了後再度測定した結果も同様であった。照度は照度計 (TENMARS ELECTRONICS, TM-209M) で、各日3回ずつ測り、平均 879.2 ± 67.8 lux であった。研究は可能な限り外光の影響を受けないよう、部屋のカーテンを閉じ、照明を点灯した明室で行われた。

第3節 結果

第1項 トレーニング結果

トレーニング1開始時のRSVP読み速度は参加者Aが81.4文節/分で参加者Bが48.4文節/分であった。トレーニング開始時の提示時間は読み速度を1単語あたりの提示時間(s)に換算し、その0.1 log unit 大きい提示時間が採用され、参加者Aは928ms、参加者Bは1,562msだった。文字サイズは臨界文字サイズより0.1 log unit 大きくし、参加者Aは約2.8°、参加者Bは約17.2°であった。参加者Aの提示時間では無意味語が369msに、仮名は293msに、漢字は293msに短縮した。参加者Bの提示時間が無意味語は494msに、仮名は312msに、漢字は312msに短縮した。参加者Aは提示時間がトレーニング初回から3割から4割ほど短くなり、参加者Bは2～3割が短縮された(Table 6-4)。トレーニングの刺激提示時間および読みトレーニングセッションの正答率をFig. 6-2に示した。参加者Aは提示時間の短縮を4回、仮名は5回、漢字は5回、参加者Bの無意味語は5回、仮名は7回、漢字は7回であった。同じ提示時間を繰り返し行くと正答率が上昇する傾向が見られた。

トレーニング2開始時のRSVP読み速度は、参加者Aは175.1文節/分、参加者Bは94.3文節/分であった。トレーニング1と同様に1単語あたりの提示時間(s)に換算し、その値の0.1 log unit 大きい提示時間を採用した。参加者Aのトレーニング開始時の提示時間は431ms、参加者Bは801msであった。文字サイズは臨界文字サイズより0.1 log unit 大きいため参加者Aは3.6°、参加者Bは15.8°であった。トレーニングの正答率と提示時間の様子をFig. 6-3に示した。RSVP形式のトレーニングを行なっても、正答率は両者ともほとんど変化はみられなかった。参加者Aは正答率80%を達しなかったため提示時間は変化せず、参加者Bの提示時間は801msから636msに短縮した。

Table 6-4 トレーニング 1 の提示時間

	トレ初	無意味語	仮名	漢字
A	928ms	369ms	293ms	293ms
減少率		40%	32%	32%
B	1562ms	494ms	312ms	312ms
減少率		33%	21%	21%

トレ初は初回のトレーニング提示時間を示す。無意味語、仮名、漢字の列はトレーニング最終セッションの提示時間を示す。減少率は最終の提示時間が初回から短くなった割合を表す。

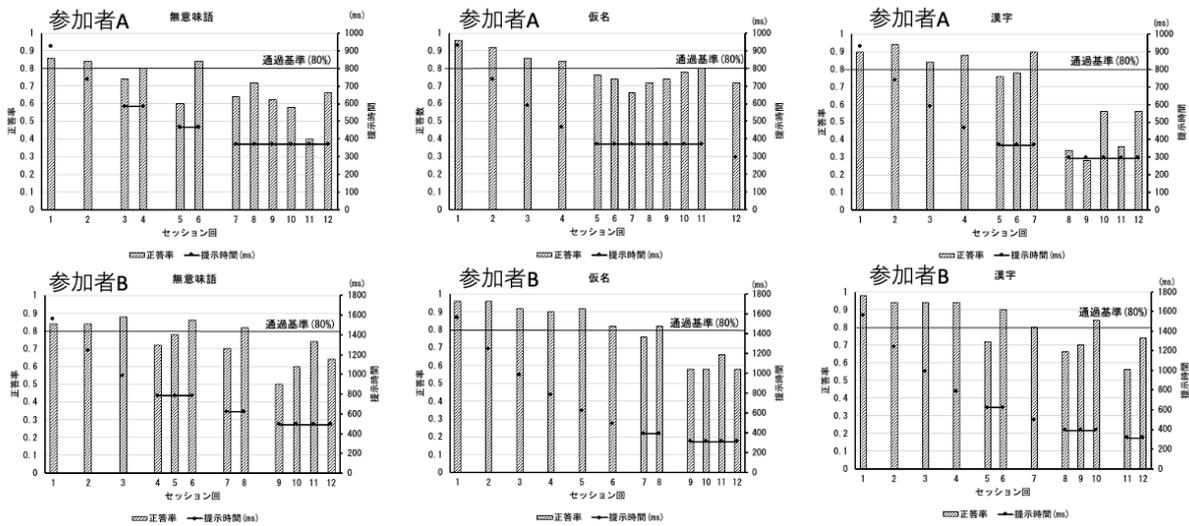


Fig. 6-2 トレーニングの正答率と提示時間

上段が参加者 A、下段が参加者 B のトレーニング内容を表している。左から、仮名無意味語、仮名有意味語、漢字 2 字熟語を刺激としたトレーニング内容である。棒グラフが正答率を表し、左縦軸を採用し、階段状のグラフが提示時間を表し、右縦軸を採用している。

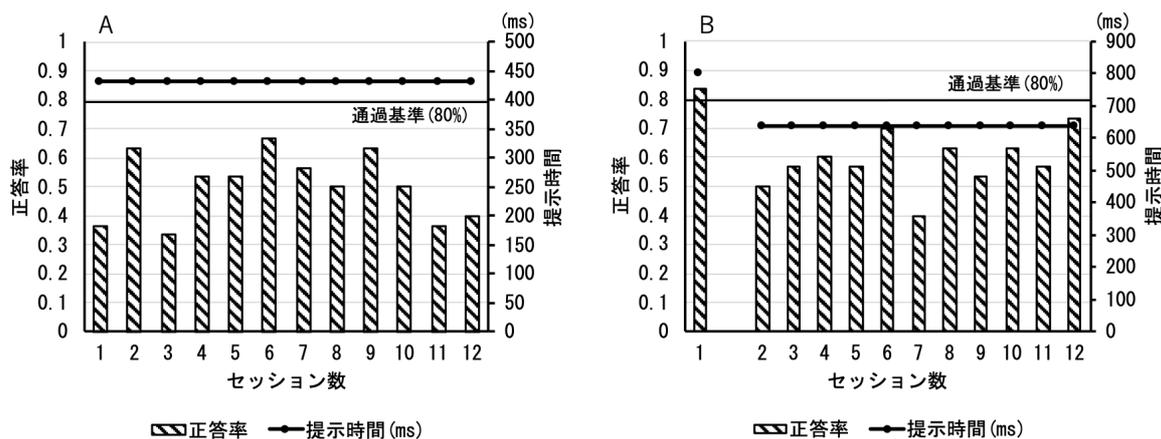


Fig. 6-3 トレーニング 2 の正答率と提示時間

読みトレーニング内容を参加者ごとに表した。棒グラフは刺激を正しく読めた正答率を表し、棒グラフが右縦軸の読みトレーニングの提示時間を表す。正答率が 80%を超えた場合に提示時間が一段階短くなるが、参加者 A は正答率 80%まで到達しなかったため、提示時間に変化がない。参加者 B は初回の提示時間から一段階は短くなったものの、その後のセッションでは提示時間に変化は確認されなかった。

第 2 項 読み速度の変化

RSVP 読み速度の結果を表と図に示した (Table 6-5) (Fig. 6-4)。トレーニング 1 の読み速度は、参加者 A は 1.9 倍、参加者 B は 2.4 倍の増加が確認された。トレーニング 2 では、参加者 A は 0.9 倍、参加者 B は 1.3 倍に増加した。トレーニング全体の増加率は、参加者 A は 1.9 倍、参加者 B は 2.6 倍であった。トレーニング 1 のポストテストからトレーニング 2 のプレテストは 1 週間のインターバルがあったが、参加者 A は読み速度が向上し、参加者 B は低下した。

ページリーディングとして 200 文字程度の紙に印刷された文章を拡大読書器で参加者が調整した視距離および拡大率で読み速度を測った。その結果を表と図に示した (Table 6-6)

(Fig. 6-5)。両者とも読み速度はほとんど変化しなかった。説明文と物語文で読み速度はほとんど差がない結果であった。

Table 6-5 RSVP 読み速度

	トレーニング1			トレーニング2			全体の増加率
	プレテスト	ポストテスト	増加率	プレテスト	ポストテスト	増加率	
A	81.4	154.4	1.9	175.1	155.9	0.9	1.9
B	48.4	115.6	2.4	94.3	125.5	1.3	2.6

単位は文節/分

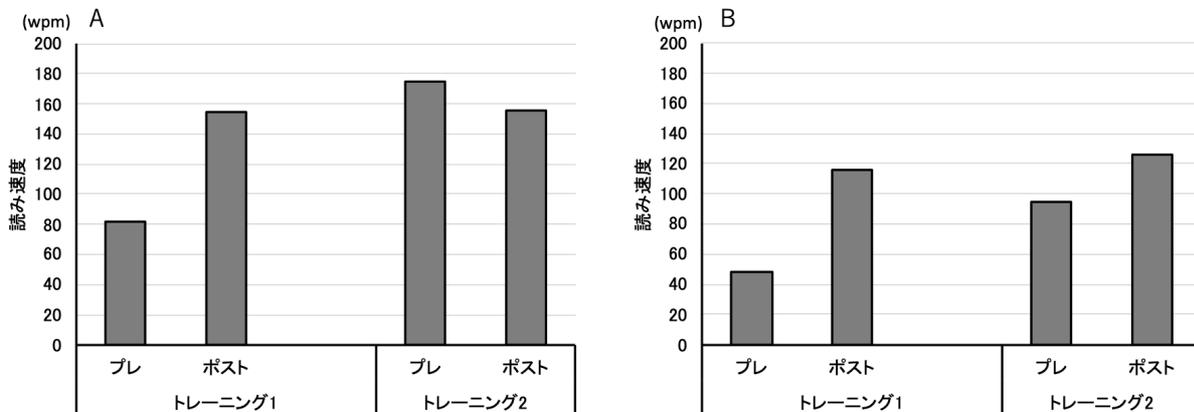


Fig. 6-4 RSVP 読み速度の推移

Table 6-6 ページリーディングの読み速度

	説明文				物語文			
	トレーニング1		トレーニング2		トレーニング1		トレーニング2	
	プレ	ポスト	プレ	ポスト	プレ	ポスト	プレ	ポスト
A	229.7	220.5	204.0	219.4	216.0	228.8	181.2	217.3
B	215.0	206.3	216.5	214.8	212.6	210.3	223.1	219.6

単位は cpm

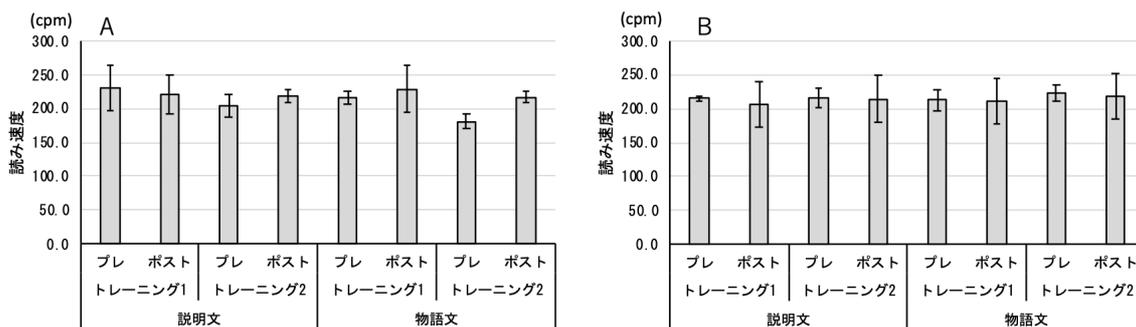


Fig. 6-5 ページリーディングの読み速度の推移

第3項 アンケート結果

アンケート結果を Table 6-7 に示した。参加者 A は日常生活の読書時に電子的に拡大して眼で見ることやスクリーンリーダを使用することが多く、読書をするのも好きであった。トレーニング 2 のプレテスト開始時のアンケートは参加者 A が好む漫画を読むのが速くなり、文字を認識する時間が速くなったという発言を聞くことができた。トレーニング 1 ヶ月後は長文でも速く読めるという自覚があったようである。参加者 B は拡大読書器を使用して文字を読むことが多く、トレーニング効果としてトレーニング 2 のプレテストでは拡大読書器を使用した読みが速くなったという実感があり、トレーニング 2 実施後 1 ヶ月では速度はそこまで変化はないが楽に読めるという実感が湧いている。トレーニング直後では読み速度の実感は少ないが、帰宅して日常的に文字を読もうとその実感が湧いてくる場合があることが示された。トレーニング法として、トレーニング 1 ではクラウドディングの影響により文字の複雑度が高い漢字の負担が大きい結果であった。

Table 6-7 アンケート結果

		A	B	
トレ1	プレテスト	普段の読書時間	たくさんする、漫画が多い	1週間で1時間くらい
		読書時の視覚補助具	電子図書が多い、その時にはタブレットを使用し、文の時はvoiceOverで聞く。漫画は眼でみる。	拡大読書器を使用
		読書をするのは好きか	好き	どちらともいえない
		読む速さはどうか	とても遅い	とても遅い
		文字を速く読めるようになりたいか	そう思う	そう思う
ポストテスト	読みが速くなったか	まだわからない	どちらともいえない	
	読みが楽になったか	そう思う	そう思う、RSVPが楽になったと思う	
	トレーニングの負担の有無	適切だった	適切だった	
	トレーニング時間の長さ	適切だった	適切だった	
	文字の読みやすさの変化	文字を判別する時間が短くなった。	視線の動かし方はよくなった。RSVPが認識しやすくなった。	
	無意味語、仮名、漢字の見やすさ	平仮名が読みやすかった。漢字は混み合っていると読みにくい。漢字の部首と造りで片方しか捉えられずあとは推測になる。平仮名は提示時間が短い方が有意に読みやすかった。	一番負担が少ないのは平仮名で、無意味語は意味がないから読みにくい。漢字は画数が多くてごちゃっとしているのとわかりにくい。	
	トレーニング刺激の文字数の影響	視野の関係で3文字目が切れてしまうので、2文字だと捉えることができた。	文字数はとくに影響はなかった。	
トレ2	プレテスト	読みの変化や気づき	漫画などを読むのが速くなった。目に入れて認識するまでの時間が短くなった。1文節にかかる時間が短くなった。	拡大読書器で紙の文字を読むとき少し速くなった気がする。
	ポストテスト	読みが速くなったか	そう思う	どちらともいえない
	ポストテスト	読みが楽になったか	そう思う、小さい文字に慣れてきた	どちらともいえない
		トレーニングの負担の有無	適切だった	適切だった
		トレーニング時間の長さ	適切だった	適切だった
		文字の読みやすさの変化	以前は1秒見てから読めていたが、瞬間的に読めるようになった。右眼だけでなく左眼も使っていきたいと思った。左眼を意識すると両眼で見える。スマホのゲームで文字を読むのが速くなった。 普段右眼を使っているが、左眼を使う方が読める量（文字数）が多いことに気づいた。意識的に左眼も使った方が、最初から最後まで読みやすい。	まだわからない
		1ヶ月後	読みやすさの変化	先日学校の方でテストがあったのですが、現代文や英語のテストで以前よりも長文を早く読めるような気がしました。

第4節 考察

第1項 トレーニング法の検討

本研究では、弱視の読み速度向上を目指した知覚学習手法に則った読みトレーニングを実施し、読みパフォーマンスの評価を行った。その結果、RSVPの読み速度向上が確認されたが、ページリーディングでは読み速度の向上は確認されなかった。これは、Chung (2021)と同様の結果である。RSVPの利点は数文字が瞬間提示されるため、少ない眼球運動で読むことができることである。本研究の結果は眼球運動が少ないときの文字処理が速くなったことを反映しているが、眼球運動を伴うページリーディング読みでは文字処理速度向上の効果よりも眼球運動が速度に与える影響の方が大きいことが予想できる。本研究のトレーニングでは衝動性眼球運動がほとんど起きない状況であったため、ページリーディングの読み速度向上には至らなかった可能性がある。本研究のタスクは主に中心窩付近の文字情報処理の強化をねらいとしたため、知覚スパンに影響を与える傍中心窩の情報処理の速度向上まで効果が及ばなかったと考えられる。つまり、中心窩の情報処理速度の向上により参加者は中心窩に注意が向けられ、傍中心窩の情報の恩恵が少なくなり、ページリーディングの速度改善に影響しなかったと考えられる。また、ページリーディングでは可能な限り速く読むように教示していたが、文字が自動的に消えるRSVPほどプレッシャーを感じなかった可能性も考えられる。

本研究のトレーニング1は無意味語を用いることで、トップダウン処理を排除した文字処理速度の向上を目指し、その後、語句推論を伴う有意味語を用いたトレーニングにより、文字処理速度向上をねらいとした。有意味語と無意味語を用いたトレーニングの刺激提示時間は平均して約 $\frac{1}{3}$ 倍まで短縮され、トレーニング1のRSVP読み速度では1分間に読める文字数が約2倍増加した。本研究と同様の手法を採用しているYu et al. (2018)のトレーニングでは提示時間を操作しながらRSVPによる読み速度向上が達成されており (Yu et al., 2018)、本研究の特徴であった語句推論ができる状況下で提示時間を操作することの効果はトリグラムタスク以上の結果にならなかった。Yu et al. (2018)は晴眼者の下部視野

10° にビジュアル・スパントレーニングを行い、正答率 80%を達成すると単純上下法により提示時間を変更し、その効果が確認されている。Chung (2021) は中心視野欠損の 9 名にトリグラムを同位置に瞬間提示し、正答率 80%を超えると提示時間を短くし、その効果が実証されている。Yu et al. (2018) は読みトレーニング初回の提示時間から平均約 57%の短縮、Chung (2021) は平均約 32%の短縮がされていた。本研究ではトレーニングの提示時間は約 30%の短縮であったため Chung (2021) の改善と同程度である。Yu et al. (2018) ほど提示時間が短縮されなかったのには、本研究では弱視の当事者が参加していたことが理由として挙げられる。Yu et al. (2010a) は晴眼者の擬似偏心視では読みトレーニング効果は高齢者より若者の方が効果が大いと考えられている。本研究の参加者は、Yu et al. (2018) の参加者と同年代であり年齢の影響は少ないと考えられる。本研究では Chung (2021) より若い参加者が参加しており、参加者の年齢は異なるが同様の効果が確認された。本研究は Chung (2021) よりトレーニング試行数が少なかったため、トレーニングを継続するとさらに大きな効果が確認できる可能性がある。本研究は先行研究を参考に読みトレーニングを行ったが、日本語でもその効果を確認することができた。仮名・漢字とアルファベットというトレーニング刺激で使用している文字の差がトレーニング効果に与える影響については今後の検討課題である。参加者 A は B よりプレテストの RSVP 読み速度が速く、ポストテストの速度は参加者 B の方がより改善が大きかった。この点は、擬似偏心視で得られた Yu et al. (2018) のプレテストの読み速度がトレーニング後のパフォーマンスに影響を及ぼす知見と一貫した結果であり、晴眼および弱視の違いを超えてみられる現象であると考えられる。

トレーニング 2 では RSVP タスクを用いてトレーニングを行った。トレーニング 1 と同様に提示時間を徐々に短くし、文字処理速度向上を目指した。Yu et al. (2010a) は RSVP タスクを用いたトレーニングで RSVP 読み速度が約 72%向上しており、本研究も似た結果になると予想していた。しかし、トレーニングにより速度向上は達成できなかった。トレーニング 1 と 2 の間には 1 週間のインターバルが設けられていたが、トレーニング 1 で読み

速度が2倍以上速くなっていたためこれ以上の速度向上が見込めない状態であった可能性がある。もしくは、スタートの読み速度が速いため速度向上までにより多くのトレーニング回数が必要だった可能性がある。RSVP トレーニングは有意味文を用いたため、文の推測が可能な状態であった。刺激文は仮名と漢字で構成されており、漢字や仮名に関わらず提示時間を一定にした状態で音読を課した。第1研究で漢字を音韻化する際に提示時間の影響を受けていたことから、日本語の場合、RSVP のように一定時間の文字提示は読みに適さない可能性がある。つまり、RSVP トレーニングをする際に、提示時間が短くなるほど推論を使用しても漢字の認識自体が困難になりトレーニング効果が制限された可能性もある。Dylman and Kikutani (2018) は仮名より漢字の音読潜時が長いことを明らかにしており、漢字の文字処理の方が音韻化に時間を要することが考えられる。そこで RSVP トレーニングの代替案として、例えば、漢字の提示時間を仮名より長くするなどの方法が考えられるが、漢字の複雑度の影響や漢字の使用方法（漢字一文字と送り仮名や漢字2字熟語など）により漢字の認識のしやすさが変わり、トレーニングに適する提示時間は漢字の中でも変わることが予想される。文字の処理速度を上げるためにも効果的な負荷を課すことが必要であるが、RSVP トレーニングの提示時間設定を行うためには、漢字の認識についてのさらなる基礎的研究が必要であることが考えられる。

第2項 読み速度向上に向けて

第4研究では、2つのトレーニング法で弱視のある高校生・大学生の RSVP 読み速度の向上が達成された。本研究の刺激は、Chung (2021) と同様にまずは仮名無意味語を用い視知覚できた文字をデコードする技術を高めたのちに有意味語を刺激とすることでより日常的な刺激を用いて処理速度を高めることをねらいとした。一般的に仮名より空間周波数の高い漢字も刺激にすることで複雑な文字の特徴を捉えて音韻化する速度向上を目指した。漢字の偽単語は読み方が複数あるため他の刺激より音韻化までに時間がかかることから他の刺激より負荷が高いことや読み方を予測する際の多様性が高くなる可能性があり、トレ

ーニング効果を確認する上で漢字偽単語の音韻化過程における曖昧さが剰余変数として混入することを考慮し刺激に含めなかった。本条件のトレーニングは4日間で文字処理速度向上の効果が確認された。参加者に実施したトレーニング1を終えたのちのアンケートから、漢字は画数が多くて認識しにくいこと、漢字の部首を捉えられても造りが分からず推測に頼らないといけないことが挙げられた。漢字は有意味語であっても複雑であるゆえに認識が難しいことがわかる。第4研究ではトレーニングとその読み速度における効果に着目したため2種類のトレーニングを4日間ずつ行いその効果を確認した。年齢によらず読みトレーニングの効果が確認されるのであれば最終的には小中学生などが学校で使用できる読みトレーニング法の開発を目指しているため、できるだけ簡易に短時間のセッションで読みトレーニングの効果が出るものを用意する必要がある。トレーニング刺激による効果を確認するためまずはトレーニング1の無意味語で読み速度の効果を測ることを考えた。そこで第5研究として無意味語刺激を用いたトレーニングとその効果の検討を行うこととした。RSVPは漢字や仮名に関わらず全ての文節で同じ提示時間であるため、複雑度の異なる漢字仮名混じり文の読みとして適していない可能性があり、ESPを用い読み速度の効果を比較することとした。

本研究では、新型コロナウイルス感染症の影響を受けた中で、さらにトレーニングが4日+4日と連続した日にちの確保が必要であったため、参加者が限定的であった。この後の研究で、様々な弱視の状態の参加者を募り、またトレーニング期間を短縮したデザインで研究を実施することで、本研究で得られた知見を整理する必要がある。

第7章 弱視のある成人の読みトレーニングと

読み速度に与える要因の考察（第5研究）

第1節 目的

第4研究では、提示時間を徐々に短くする文字処理速度向上を目的にした知覚学習である読みトレーニング法は一定の効果があることが示された。第5研究では、より簡易で短時間で効果的な読みトレーニングを目指すため、Chung（2021）と同様の仮名無意味語3文字のみでトレーニングを実施し、その効果を検証することを目的とした。第4研究で実施されたトレーニングの文字サイズは、Chung（2021）などを参考に臨界文字サイズから決定していた。臨界文字サイズの測定は、大きい文字サイズからほとんど読めないほどの小さい文字サイズで書かれた刺激を読む必要があり、参加者の負担が大きい。そこで本研究では臨界文字サイズの平易な求め方を検討する。さらに読み環境として紙の読みとiPadの読み速度を比較し媒体が速度に与える影響を検討することとした。

第2節 方法

第1項 研究デザイン

本研究は、プレテスト、読みトレーニング、ポストテストの順で行われた。実験の概要を Fig. 7-1 に示した。実験は休憩や昼食の時間を含め約8時間であった。プレテストの読みアンケートで読みやすい背景の色を選択してもらい、その後の文字を読む全ての課題で希望の背景で実施した。部屋の明るさ、モニターの明るさなどは全て参加者の希望に沿った。プレテストでは眼科に行き、参加者の基礎情報として視力、ゴールドマン視野検査、マイクロペリメータ MP-3（以下 MP-3）の固視点感度と固視の安定性、OCT（optical coherence tomography）の黄斑マップと黄斑マルチ、眼底写真の撮影が行われた。視力以外は全て優位眼のみ検査が行われた。MP-3 が測定できた参加者は読みトレーニング効果と固視の安定性が検証された。

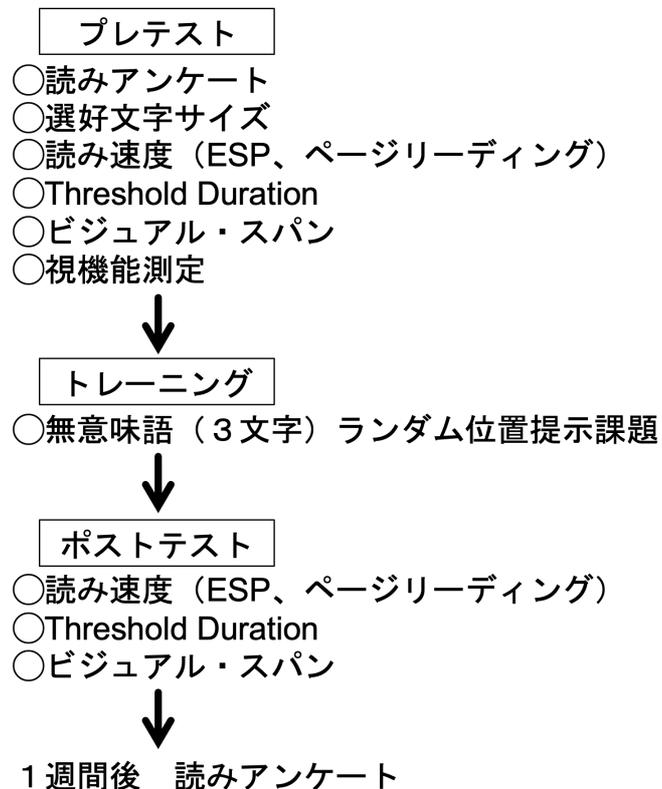


Fig. 7-1 研究実施の流れ

第2項 実験期間と実験参加者

実験参加は縁故法で読み速度向上を希望する人を募集し、参加者は成人7名（18～36歳）であった。参加者の基礎情報を Table 7-1 および 7-2 に示した。参加者自身が研究参加を表明し、口頭と紙面により研究の目的と内容、研究への参加は任意であること、撤回の自由などを書面および口頭で確認し、同意書に同意の意思を示した。実施期間は2023年2月6日～2月28日であった。

Table 7-1 参加者情報

	年齢	性別	眼疾患	近見小数視力			現在の見え方の発生時期
				両眼	右眼	左眼	
A	22	女	眼球振盪	0.01	0.01	0.01	20歳（進行中）
B	18	男	視神経低形成	0.3	0	0.25	先天
C	23	女	小眼球症	0.02	0	0.02	先天
D	25	女	先天性緑内障、無虹彩症	0.1	0.1	0	20歳
E	21	女	術後右動眼神経麻痺	0.25	0	0.25	9歳
F	36	男	視神経萎縮	0.25	0.25	0.2	15歳
G	23	女	先天性緑内障、無虹彩症	0.015	0	0.008	18歳

Table 7-2 参加者の読み状況（プレテストのアンケート一部）

	見やすい網膜位置	読書時の背景	文字の読み方	1週間の読書時間
A	中心	黒背景	タブレットや拡大読書器で反転して読む	70時間
B	中心	白背景	接近視して読む	7時間
C	中心、少し傾けて見る	黒背景	タブレットで反転して読む	0時間
D	中心	黒背景	タブレットで読む	5時間
E	中心	黒背景	タブレットで反転して読む 文字を拡大印刷して読む	0時間
F	偏心	黒背景	接近視	14時間
G	偏心	黒背景	タブレットや拡大読書器で反転して読む	1時間

第3項 刺激と実験手続き

1. 読みアンケート

プレテスト読みアンケートとして、見え方の時期、読み視覚補助具、読書時間などを聞いた。研究開始前に眼の負担を最小限にするため、質問事項を実験者が読み上げ、参加者が口頭で回答した。ポストテスト読みアンケートは研究終了1週間後に質問事項が記載さ

れたファイルをメール添付し、参加者自身の端末で記入・送付した。アンケート項目を Table 7-3 に示した。

Table 7-3 アンケート項目

プレテスト	ポストテスト
何歳くらいから今の見え方になりましたか？	小学校・中学校・特別支援学校などでトレーニングを行うとして身体的負担は許容できますか？ (5件法)
白い背景と黒い背景のどちらで文字を読むのが好きですか？	トレーニングはおおよそ1時間でしたが、1週間に1度トレーニングを行うことを想定して身体的負担は許容できますか？ (5件法)
文字を読む時、どの視覚補助具を使用されますか？	文字を読むことが速くなったと思いますか？ (5件法)
本や漫画、雑誌、教科書を含み、読書は好きですか？	文字を読むことが楽になったと思いますか？ (5件法)
どのようなジャンルの本を読むのが好きですか？	研究参加から1週間程度、経過しましたが、読みにおいて何か変化はありますか？ (自由記述)
1週間で読書をする合計時間はどのくらいですか？	1日の研究を通して、身体的負担が大きかったものを3つ挙げ、負担が大きい順に記載してください。 (自由記述)
	研究の感想など自由に記述いただけたら幸いです。 (自由記述)

5 件法の内訳：そう思う、ややそう思う、どちらともいえない、あまりそう思わない、そう思わない

2. 選好文字サイズ

大きい文字サイズから小さい文字サイズまで順に並べた 1 行の刺激をモニター (ASUS、1,920×1,080、90ppi) に提示した。刺激は、パワーポイントで作成され、モニターにプレゼンテーションモードで表示された。最初の刺激が一番大きい文字から提示し、参加者がキーを操作し、黙読で読みやすいと感じた文字の大きさを教えてもらった (Fig. 7-2)。次に、最も小さい刺激を提示し、同様に参加者の読みやすい文字サイズを教えてもらった。文字の大きさは視距離と文字の高さから視角で記録した。各参加者の 2 試行の文字サイズを平均し、選好文字サイズと名付けた。

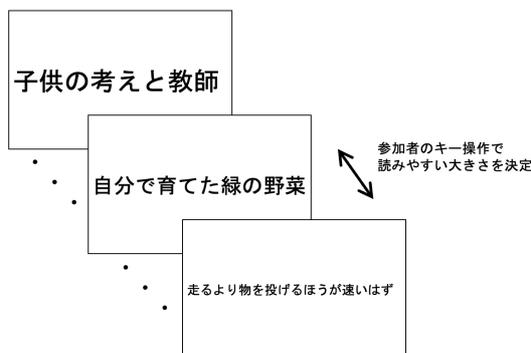


Fig. 7-2 モニター提示例

3. 読み速度

読み速度は3つの方法で計測された。1つ目はESPである。ESPは英語圏では一単語ずつ提示する方法で、参加者のキー操作で次の単語が提示される(Arditi, 1999)。本研究では、1文節ずつ提示した。刺激文は第1研究と同様であるが、第1研究と第2研究の参加者は異なったため刺激文を見たことがある人はいなかった。

ページリーディングは紙(A3)に印刷された文章(紙読み)とiPad(Apple Ltd, iPad Pro 第3世代、12.9インチ)(iPad読み)に表示された文章の2種類を実施した(Fig. 7-3)。紙読みは各参加者の臨界文字サイズの1.4倍になるように文字の高さや視距離で調整された。iPad読みは参加者のピンチアウト操作により文字を自由に拡大できた。iPadは斜面台に置かれ、参加者が自由に視距離を変更できた。両者はどちらも1行10文字でレイアウトは同一であったが、iPad読みで文字を大きくした場合、iPadに映る1行あたりの文字数は紙読みより少なくなる場合があった。

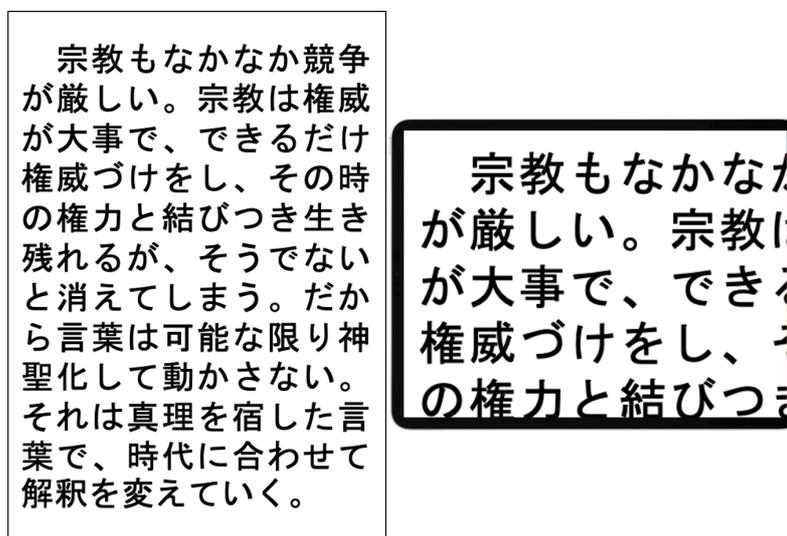


Fig. 7-3 ページリーディング提示例

4. threshold duration

threshold duration はビジュアル・スパンの提示時間を決定するために、文字を認識でき

る提示時間を決定するために測られた。Chung (2021) と同様にビジュアル・スパンで使用する仮名 3 文字を文字位置 0 に提示した。文字位置 0 の上下に文字サイズの 4 分の 1 の大きさを直径にした丸の図形を置き、1 秒間提示されたあと、刺激が丸と共に定められた時間提示された。その後の空白画面で、参加者は口頭で 3 文字を左から右に答えた。文字サイズは臨界文字サイズの 1.4 倍とし、提示時間が 1000ms、794ms、631ms、501ms、398ms、316ms、251ms、200ms、158ms、126ms、100ms、79ms、63ms、50ms の順に行われた。提示時間が長いものから 1 セッションとし、1 セッションあたり 10 試行が実施された。実験者は刺激の中央文字の正答率を数え、一つのセッションで正答率が 0% になると実験は終了した。Chung (2021) と同様に提示時間と正答率を累積ガウス関数にフィットさせ、正答率 80% をカットオフ値とし、実験者はその提示時間を **threshold duration** として記録した (Fig. 7-4)。

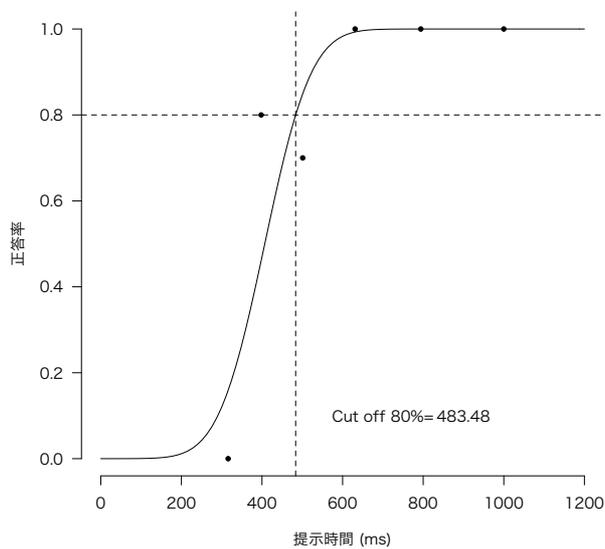


Fig. 7-4 Threshold Duration の提示時間と正答率の関係

5. ビジュアル・スパン

ビジュアル・スパンの求め方は序論に示した通りであり、文字の大きさは各参加者の臨

界文字サイズの 1.4 倍であった。提示時間は **threshold duration** であったが、どの提示時間でも正答率が高く、**threshold duration** が求められなかった参加者は、Wang et al. (2014) と同様に提示時間 200ms とした。13 試行を 1 セッションとし、12 セッション行った。3 セッションずつ休憩の必要性を尋ねたが、休憩を取った人は 6 セッション後が最も多く、休憩を取らない参加者もいた。

6. 読みトレーニング

Chung (2021) のように、文字位置 0 に刺激を瞬間提示させた。刺激はランダムに並んだ仮名 3 文字とし、仮名はビジュアル・スパン刺激で採用された 26 文字の仮名が使用された。3 文字のうち中央文字の正誤が記録された。1 セッションは 50 試行で構成され、最大で 10 セッションが行われた。参加者の疲労度と休憩の有無により参加者により実施されたためセッション数は異なった。提示時間は **threshold duration** から始め、1 セッションの正答率が 80% を超えると提示時間が 0.1 log unit 小さくなった。**threshold duration** が求められなかった参加者は、**threshold duration** のセッションで正答率 80% 以下となった最も短い提示時間を読みトレーニングの初回の提示時間に設定した。最短の提示時間で高い正答率を保持していた場合は提示時間 200ms が採用された。

第3節 結果

各結果を Table 7-4 と Table 7-5 に示した。選好文字サイズは「上昇」が小さい文字サイズから、「下降」が大きい文字サイズから提示した結果である。ESP は最大読み速度と臨界文字サイズを算出した。選好文字サイズと臨界文字サイズはそれぞれ視角で表している。ページリーディングは紙読みと iPad 読みで参加者ごとにそれぞれ平均した読み速度を表す。threshold duration は求めることができた人の結果のみ示した。求めることができなかった人は、わずか 50ms などの短い提示時間でも中央文字の正答率が 8 割を超えており、累積ガウス関数に適合できなかったことを表す。

Table 7-4 プレテスト結果

	選好文字サイズ (度)		ESPのMRS (cpm)	ESPのCPS (度)	Page reading speed_紙 (cpm)	Page reading speed_iPad (cpm)	Threshold duration (ms)	Visual Span (bits)	中心伝達情報量 (bits)
	上昇	下降							
A	13.3	13.8	235.8	11.1	239.4 ± 3.4	182.0 ± 16.3	483.5	17.9	8.7
B	1.4	5.4	269.4	0.7	338.5 ± 57.1	354.2 ± 18.1	—	23.0	8.3
C	13.4	24.8	251.6	9.3	177.3 ± 26.0	185.7 ± 14.2	—	15.3	7.1
D	7.3	11.5	342.2	1.2	312 ± 6.5	402.2 ± 8.0	—	28.8	7.3
E	3.7	4.9	191	1.3	206.2 ± 4.7	215.5 ± 3.7	—	20.1	8.3
F	1.5	3.9	216.1	1.2	194.4 ± 14.5	235.8 ± 19.0	—	12.0	7.4
G	18.7	23.5	89.9	21.8	59.9 ± 5.8	75.1 ± 3.7	914.8	13.6	5.5

Table 7-5 ポストテスト結果

	ESPのMRS (cpm)	ESPのCPS (度)	Page reading speed_紙 (cpm)	Page reading speed_iPad (cpm)	Threshold duration (ms)	Visual Span (bits)	中心伝達情報量 (bits)
A	342.2	7.8	268.6 ± 22.4	199.9 ± 16.8	338.7	17.5	8.7
B	500.6	1.3	353.2 ± 18.0	326.9 ± 19.6	—	21.8	7.4
C	277.5	7.8	176.0 ± 3	181.3 ± 11.4	75.3	14.8	6.8
D	386.6	1.8	328.7 ± 5.7	392.6 ± 12.4	—	27.0	6.3
E	235.2	1.3	225.0 ± 3.7	226.5 ± 26.6	—	22.9	8.6
F	220	1.2	225.3 ± 42.5	251.0 ± 21.7	—	11.3	7.8
G	90.9	10.2	59.8 ± 5.8	72.0 ± 4.6	1085.2	16.7	6.9

第1項 トレーニングの提示時間推移とトレーニング効果

読みトレーニングの提示時間推移を Fig. 7-5 に示す。正答率 80% を超えると提示時間が短くなるが、最も短い提示時間は 50ms で文字を瞬間提示している場合はそれより短縮さ

れることはなかった。多くの参加者の提示時間は短くなったが、トレーニング開始時に短い提示時間であった参加者は提示時間の変更回数が少ないまたは全く変化しない場合があった。提示時間が短くなるほどトレーニング開始時より文字の処理速度が高まったことを反映しているため、参加者によっては約1時間のトレーニングで正確に文字を知覚しながら読み速度を高めることができた。

トレーニング効果を確認するため、各指標のプレテストとポストテストを t 検定で比較した。結果を Fig. 7-6 に示した。ESP の log 最大読み速度では、有意差が確認された ($t(6) = 2.56, p = 0.04$)。ポストテストはプレテストの 1.26 ± 0.3 倍速くなった。ESP の log 臨界文字サイズは、有意差が確認されず ($t(6) = 0.29, p = 0.78$)、紙読みは有意差が確認され ($t(6) = -3.23, p = 0.02$)、iPad 読み ($t(6) = -0.25, p = 0.81$)、全体のビジュアル・スパンの伝達情報量 ($t(6) = -0.31, p = 0.77$)、中心のビジュアル・スパンの伝達情報量は ($t(6) = 0, p = 1.0$) 有意ではなかった。

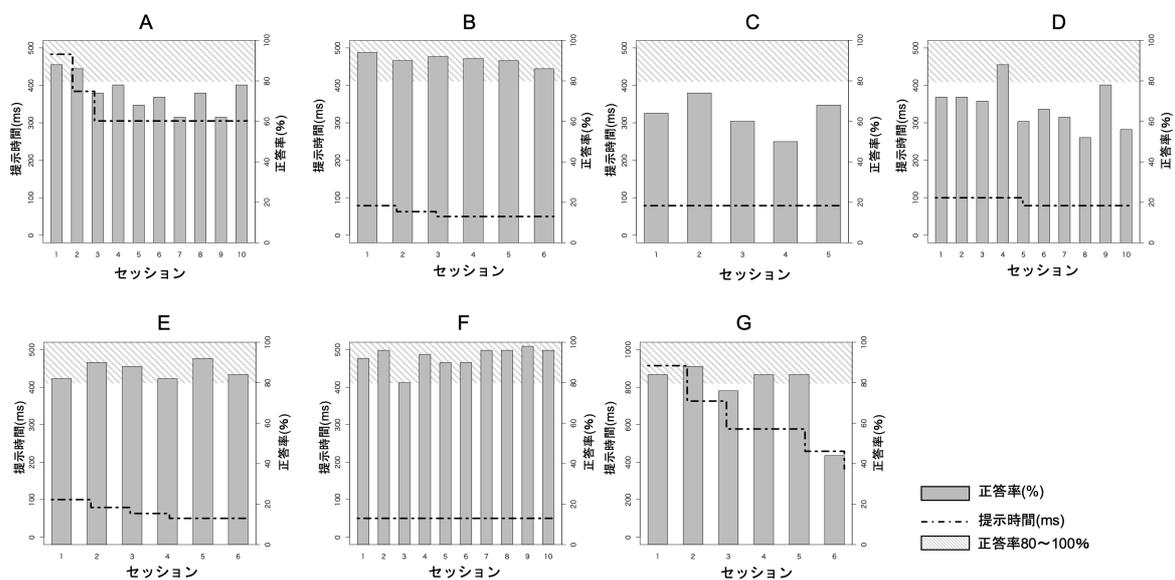


Fig. 7-5 読みトレーニング提示時間推移

各パネルは参加者一人分の読みトレーニング内容を表す。棒グラフは左縦軸の提示時間を表し、鎖線の階段上のグラフは右縦軸の正答率を表す。パネルの上部にある背景の斜線は正答率 80%以上であることを表す。つまり、棒グラフが斜線部に到達した場合、次のトレーニングセッションは1段階短い提示時間が採用される。参加者 B、E、F は最短の提示時間を達成しているため、正答率が 80%を超えても提示時間がそれ以上短くならなかった。参加者のプレテストの読み速度からトレーニング開始時の提示時間を決定しているため、参加者ごとに初回提示時間が異なり、左縦軸はパネルごとに異なる。参加者により眼の負担が異なったため、約1時間のトレーニングで実施できたセッション数が異なる。

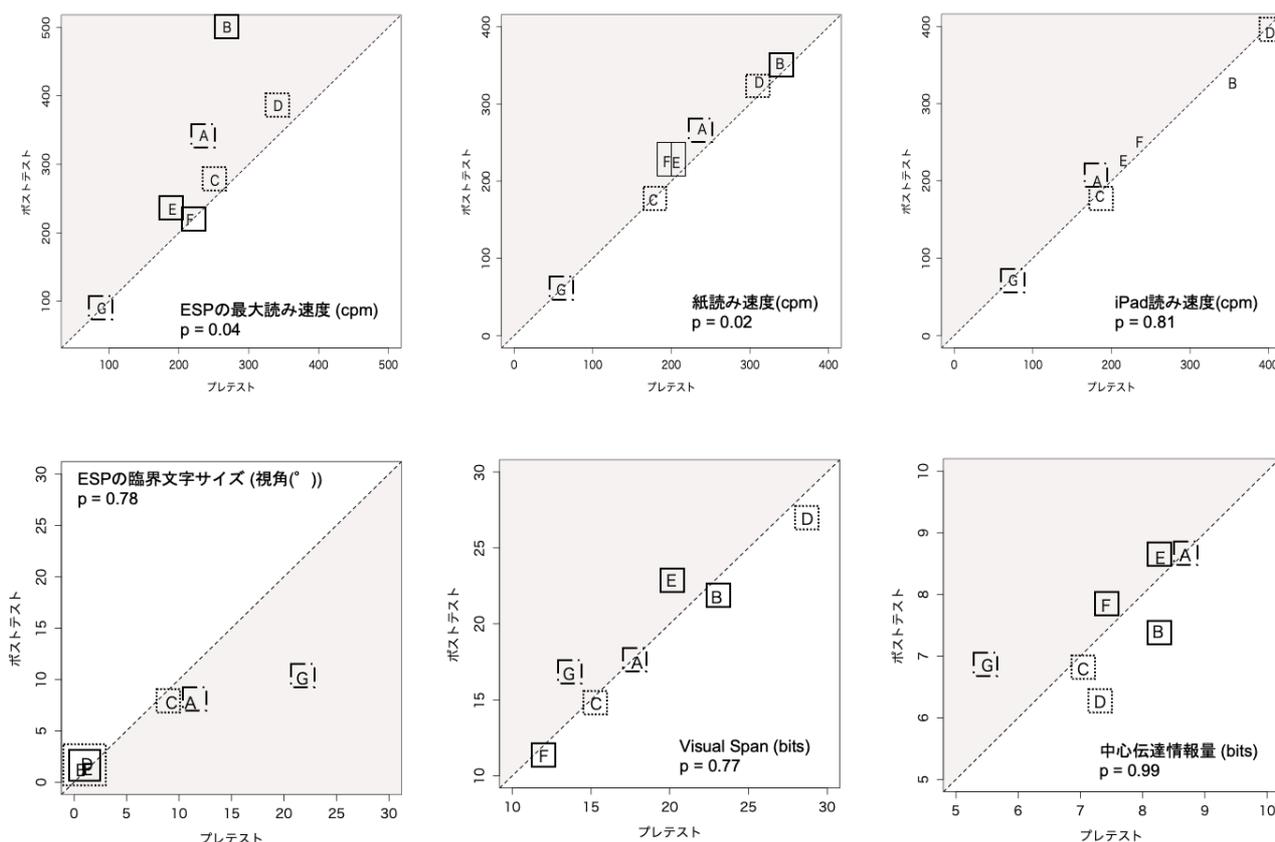


Fig. 7-6 読みトレーニング効果

6つのパネルは左上からESPの最大読み速度、紙読み速度、iPad読み速度、ESPの臨界文字サイズ、ビジュアル・スパン、中心伝達情報量のプレテストとポストテストを表す。各パネルのアルファベット記号は参加者のIDを示す。パネルの $y = x$ を表す点線はトレーニングの前後で値が変化していないことを示す。灰色の領域にアルファベットがプロットされている場合、プレテストの値よりポストテストの値が向上したことを表す。ESPの臨界文字サイズの向上は、最大読み速度を達成できる文字サイズが小さくなったことを表すため、他のパネルとは異なり下側の領域に灰色が塗られている。各パネルのp値はプレテストとポストテストのt検定の結果を示している。アルファベットの周囲を囲む四角は、考察で分けたグループを示す。実線がグループa、鎖線がグループb、点線がグループcを指す。ESPの臨界文字サイズのパネルは、参加者B・D・E・Fは重なっているため、個別の印は表示していない。

第2項 読みアンケート

研究実施日から1週間後にアンケートを行った。「そう思う」「ややそう思う」と回答した人数を合わせてポジティブな回答、「そう思わない」「あまりそう思わない」と回答した人数を合わせてネガティブな回答とした。結果をTable 7-6に示した。「小中特別支援学校でトレーニングを行なう場合の負荷は許容できる」という問いにポジティブな回答をした

人は4名、ネガティブな回答をした人は2名であった。「1週間に1度、読みトレーニングをした時の負荷は許容できる」という問いにポジティブに回答した人は5名、ネガティブに回答した人は2名であった。自由記述の研究の感想を記載する欄に、ネガティブに回答した理由として、見るという行動だけで疲れる子供がいるので読みトレーニングをするのは難しいと感じたこと、1セッションあたりのトレーニング時間とトレーニング回数の短縮をすれば読みトレーニングは実施できると思うなどの感想が記載された。読みトレーニングを視覚特別支援学校等で実施する際は、参加者の眼の状態を確認する必要がある。さらに年齢や児童生徒の集中力等から読みトレーニング回数を決定する必要性が示唆された。

読みトレーニングで速度向上に関してポジティブに回答した人は1名、ネガティブに回答した人は1名、5名はどちらでもないと回答した。読みトレーニングで楽に読めるようになったという問いではポジティブな回答が2名、ネガティブな回答が2名であった。約1時間の読みトレーニングであったため、参加者自身は効果を感じにくかった可能性がある。読みの変化を自由記述で尋ねたところ、1名は文字を長時間読むことへの眼の負担が減ったと回答した。このように参加者によっては1時間で効果を実感することができている。この1名はRSVP読み速度が約2倍に向上しており、読みトレーニングで特に効果的な人がある可能性がある。

Table 7-6 事後アンケート結果（人数）

	そう思う	ややそう思う	どちらでもない	あまりそう思わない	そう思わない
学校教育で読みトレーニングの負荷は許容できる	1	3	1	2	0
1週間に1度の読みトレーニングをする負荷は許容できる	2	3	0	2	0
トレーニング後の読み速度は向上した	0	1	5	1	0
トレーニング後の読みは楽になった	1	1	3	2	0

第3項 ビジュアル・スパンと読み速度の関係

参加者のビジュアル・スパンの大きさとESP・紙読み・iPad読みの読み速度をそれぞれ回帰分析した（Fig. 7-7）。ESP読み速度は有意差が認められず（ $r^2 = 0.53$, $r = 0.73$, $p = 0.06$ ）、

紙読みと iPad 読みは有意差が認められたため（紙： $r^2 = 0.60$, $r = 0.78$, $p = 0.04$; iPad： $r^2 = 0.60$, $r = 0.78$, $p = 0.04$ ）、ビジュアル・スパンが紙および iPad の読み速度に影響を与えていることが示唆された。中心伝達情報量はどの読み速度でも有意差は確認できなかったが（ESP： $r^2 = 0.27$, $r = 0.52$, $p = 0.23$; 紙： $r^2 = 0.52$, $r = 0.72$, $p = 0.07$; iPad： $r^2 = 0.14$, $r = 0.38$, $p = 0.40$ ）、グラフから中心伝達情報量が多いほど読み速度が大きくなる傾向は確認できた。

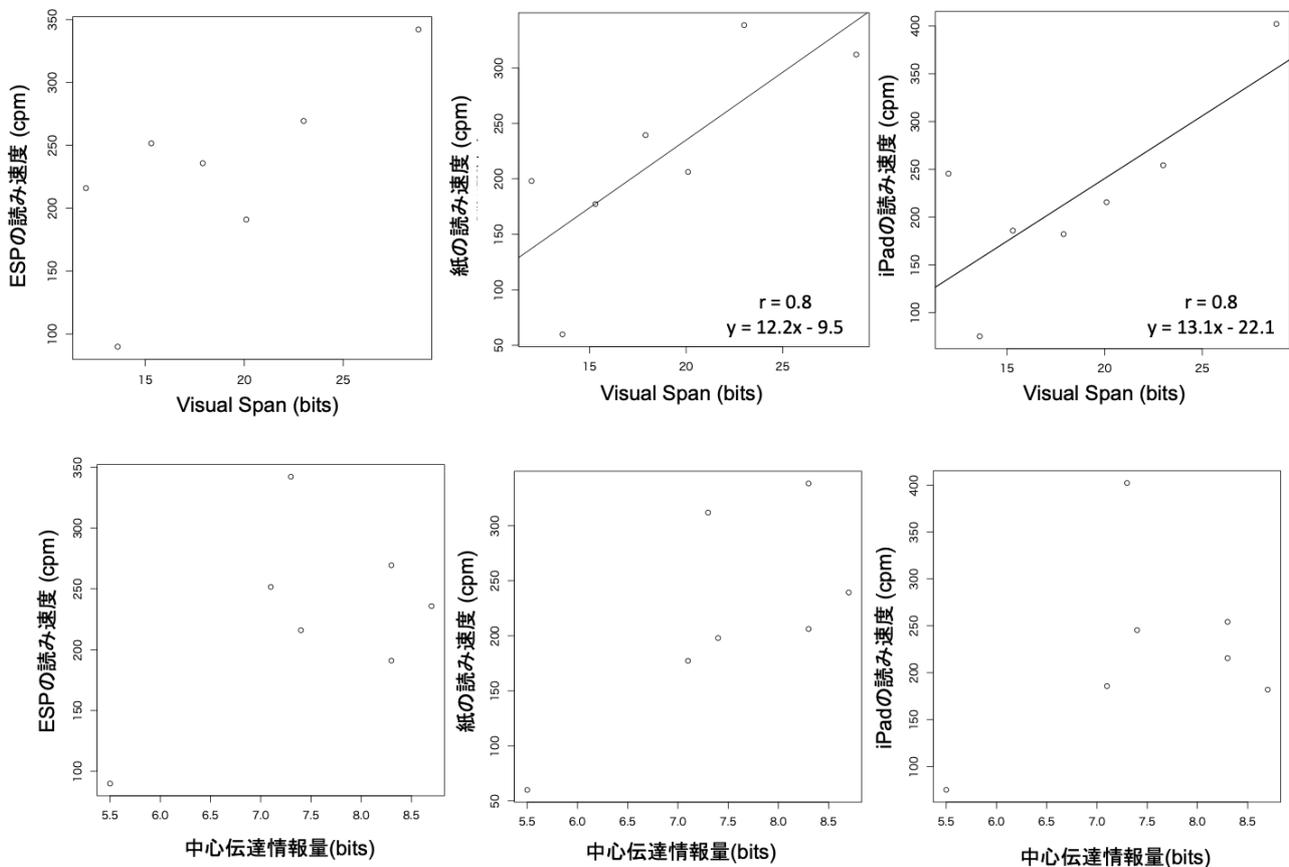


Fig. 7-7 ビジュアル・スパンおよび中心伝達情報量と各読み速度の関係

上段がビジュアル・スパンと読み速度、下段が中心伝達情報量と読み速度を表している。有意差が確認された項目のみ回帰直線を引いている。

第4項 選好文字サイズと臨界文字サイズの比較

本研究の目的の一つが平易に選好文字サイズと同程度の文字サイズの求め方を検討することであった。選好文字サイズと臨界文字サイズの結果を Fig. 7-8 に示した。本研究で求

めた選好文字サイズは臨界文字サイズと差があるか検討するために、 t 検定とブランドアルトマン分析を行った (Fig. 7-9)。選好文字サイズの上昇と下降を平均し、その値を常用対数へ変換し、プレテストの臨界文字サイズも同様に常用対数へ変換された。選好文字サイズと臨界文字サイズは統計的な有意差が確認された ($t(6) = 3.53, p = 0.01$)。ブランドアルトマン分析でその差をさらに検討した。2つの測定値の差 = $0.46 \times \text{平均} + 1.54$ であり、傾きは 0 でないとはいえず ($p = 0.07$)、全体的に変動がないことを示した。しかし、選好文字サイズと臨界文字サイズの差は 0.39 であり、ESP で設定した文字サイズ約 4 つ分の差があることとなる。今回の目的である臨界文字サイズと同程度の大きさの文字サイズを選好文字サイズで求めることはできなかった。選好文字サイズは本研究で独自に用いた指標であり、今後の検討が必要となる。例えば、Latham and Macnaughton (2022) のように MNREAD チャートを提示し、快適に読める文字サイズである CfPS を教えてもらうことで、臨界文字サイズと同様の文字サイズを求めることができた可能性がある。しかし、CfPS の求め方が決められているわけではなく、まだ検討が必要であることや、刺激文は違うが MNREAD チャート評価と CfPS を同日に求めているため、チャートの位置を参加者が覚えていた可能性が残された検討課題とされている。そこで、本研究はいずれ学齢期の子供が学習漢字を考慮した刺激で選好文字サイズを取り扱えるように独自の指標を検討したが、臨界文字サイズとは同じ結果にはならなかった。Latham et al. (2023) が指摘するように、長文を刺激とした参加者が読みやすい文字サイズについてはあまり検討されていない。

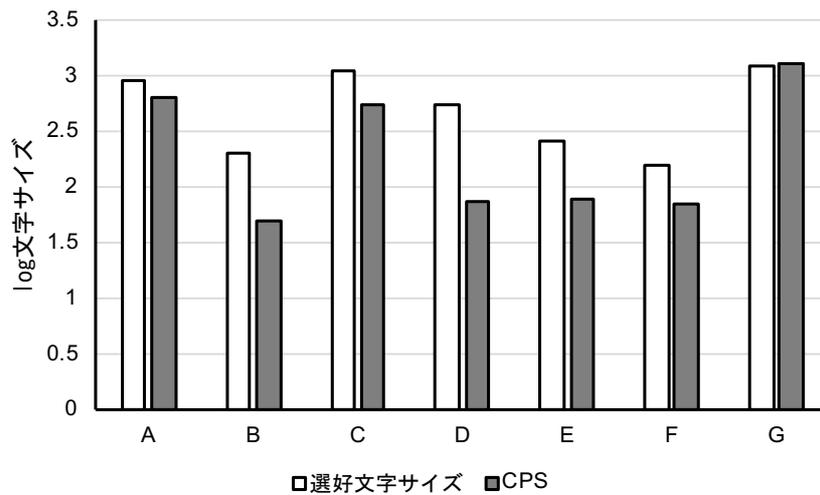


Fig. 7-8 選好文字サイズと CPS の比較

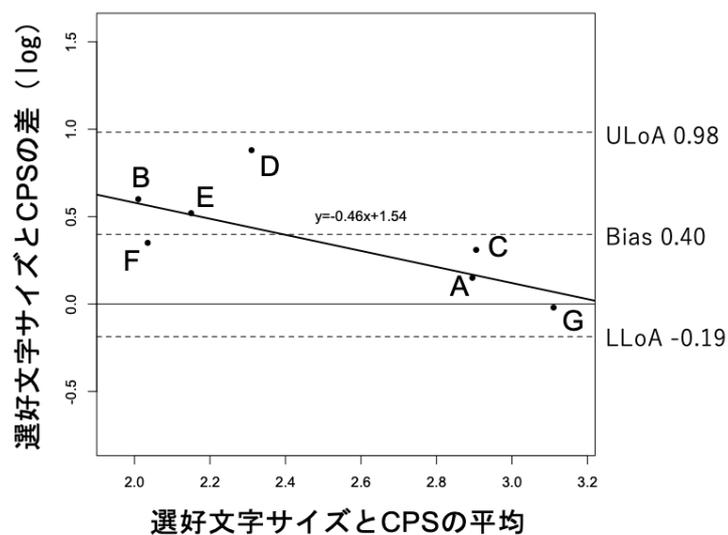


Fig. 7-9 選好文字サイズと CPS のブランドアルトマンプロット

第5項 紙読みと iPad 読みの文字サイズおよび読み速度の比較

参加者 G は臨界文字サイズが大きく文章が A3 サイズの用紙に収まりきらなかったため、分析対象から外した。参加者の紙読みと iPad 読みの結果を Fig. 7-10 に示した。まず、紙読みと文字サイズの読み速度を t 検定で比較した結果、有意差はなかった ($t(5) = -0.72, p = 0.50$)。次に文字サイズを検討した。紙読みで扱った文字サイズは各参加者の臨界文字サ

イズ×1.4であり、その値を対数にした。iPad読みは刺激文章ごとに参加者が読みやすい文字を決定したため、参加者ごとに文字サイズ（視角）を平均し、対数にした。文字サイズの結果を Fig. 7-11 に示した。紙読みと iPad 読みの文字サイズをウイルコクソンの符号付順位検定で比較した結果、有意差はなかった ($p = 0.16, z = -1.56, r = -0.45$)。両文字サイズの差を検討するため、ブランドアルトマン プロットをし、回帰直線の結果は、傾きは0ではないといえない結果であった ($p = 0.15$) (Fig. 7-12)。平均の差は -0.20 ± 0.24 であり、ESPを求める際に2文字サイズ分の差が生まれることとなる。しかし、読み速度に有意差はなく、長文を音読する際に参加者自身が設定した文字サイズは臨界文字サイズと $0.2 \log$ 程度の差がみられることがわかった。

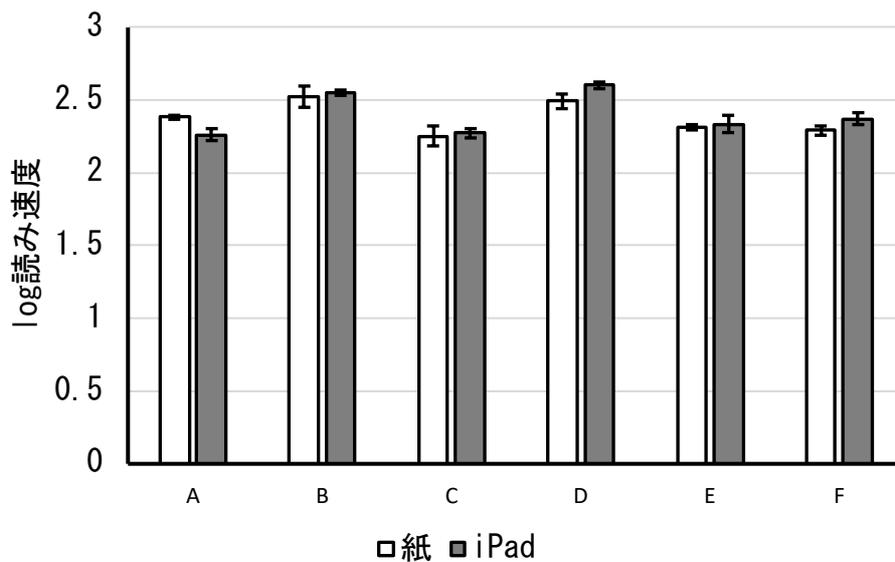


Fig. 7-10 紙読みと iPad 読みの読み速度比較

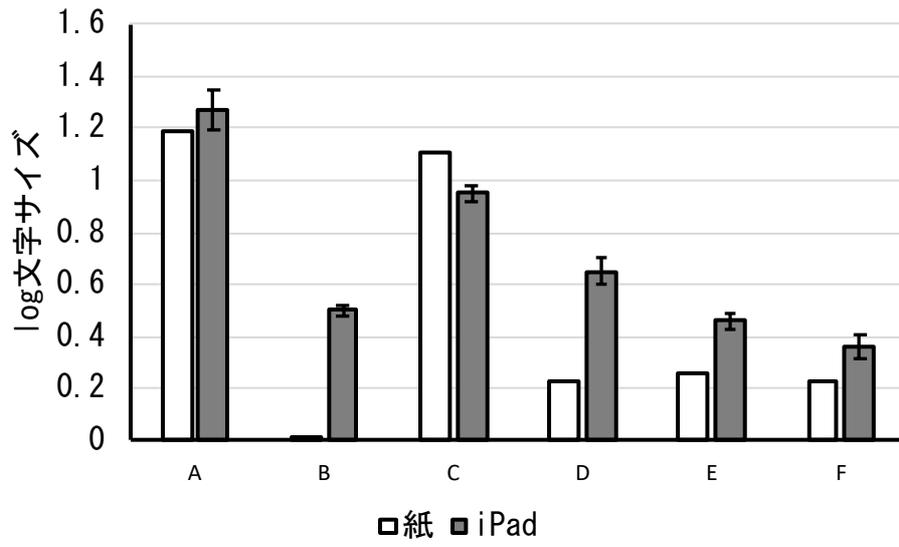


Fig. 7-11 紙読みと iPad 読みの文字サイズ比較

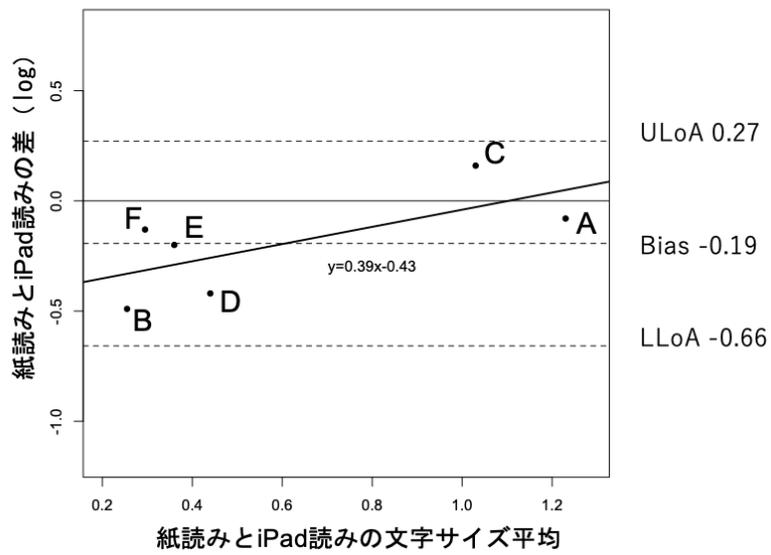


Fig. 7-12 紙読みと iPad 読みの文字サイズ比較

第4節 考察

第1項 読みトレーニング効果

読みトレーニングの効果について、本研究では読みトレーニングの実行性の向上を狙いとして、1時間のみの読みトレーニングをデザインし、その効果を検討した。全体の傾向を考察したのち、視力別に群分けて考察を行う。

本研究では平仮名無意味語3文字の瞬間提示をトレーニング課題として行い、ESP 読み速度、紙と iPad の2つのページリーディング、計3つの読み速度を読みトレーニングのプレ・ポストで比較し、日常の読み速度へのトレーニング効果を検討した。また、その際、ビジュアル・スパンおよび中心伝達情報量の変化が読み速度の変化に影響を与えていると仮説をしていたため、それらの変数についてもプレ・ポストで検討するとともに、3つの読み速度との相関関係を検討した。その結果、ビジュアル・スパンは紙読み速度および iPad 読み速度のページリーディングとの間に有意な強い相関があった。ビジュアル・スパンの大きさが読み速度に影響を与えることは Kwon et al. (2007) の研究と同様であることから、今回もビジュアル・スパンの拡大がページリーディングの向上に貢献したことが考えられる。今回、設定した中心伝達情報量と読み速度の回帰分析は有意ではなかったが、Fig. 7-7 紙読みから中心伝達情報量が大きいほど読み速度は高い傾向が確認された。読み速度向上には読みトレーニングで正確に文字情報を処理する速度を高め、ビジュアル・スパンや中心伝達情報量の増加に伴い、読み速度は向上する可能性が示唆された。Cheong et al. (2008) は加齢黄斑変性のある参加者の読み速度に与える要因を調べ、ビジュアル・スパンの説明率はわずか10%であり、temporal threshold や1秒あたりの伝達情報量 (information transfer rate) が RSVP 読み速度に与える説明率は30%を超えており、短い時間で多くの情報を処理できることが RSVP 読み速度にとって重要であることを示唆している。Kwon et al. (2007) は RSVP およびフラッシュカードによるページリーディングの読み速度にビジュアル・スパンの大きさが関係していることを示しており、いずれの研究においても文字を短時間で正確に処理することが読み速度に貢献している。本研究では、これらの研究を支持するも

のであり、正確に文字を知覚できることがページリーディングに影響を与えていることが示された。

読みトレーニングの効果としてトレーニング時の提示時間の推移の点から検討した。提示時間の短縮が見られた参加者や最短の提示時間に達した参加者など様々であったため、1群での考察ではなく、参加者を3つのグループに分けて考察を行うことが妥当と考えた。グループは、最短の提示時間 50ms でトレーニングを行ったグループ a、提示時間が 50ms に達してなく、提示時間の短縮が1段階以下であったグループ b、提示時間の短縮が2段階以上であったグループ c の3つに設定した。結果 (Fig. 7-5) より、グループ a は参加者 B・E・F、グループ b は参加者 C・D、グループ c は参加者 A・G となった。

グループ a の見え方は小数視力が 0.25 以上であり、参加者の中では高い視力値で構成された。参加者 B のプレ・ポストの比較をすると、ESP 最大読み速度は1分間に読める文字数が約2倍、紙の読み速度が約1倍、iPad 読み速度が約0.9倍となった。ビジュアル・スパンと中心伝達情報量はともに向上がみられなかった。参加者 B は脳疾患に伴う視神経萎縮のため、右眼は使用不能で左眼のみで見ている。左眼は視野の求心性狭窄で、MP-3 による固視安定度は不安定であった (巻末資料②)。参加者 E のプレ・ポストの比較をすると、ESP 最大読み速度は1分間に読める文字数が約1.2倍、紙の読み速度が約1.1倍、iPad 読み速度が約1.1倍となった。ビジュアル・スパンは約3bits と中心情報伝達量は約0.3bits の向上がみられた。参加者 E は術後右動眼神経麻痺であり、視野は左半盲を呈し MP-3 による固視安定度は良好であった (巻末資料⑤)。参加者 F のプレ・ポストの比較をすると、ESP 最大読み速度は1分間に読める文字数が約1倍、紙の読み速度が約1.2倍、iPad 読み速度が約1.1倍となった。ビジュアル・スパンの変化はなく、中心伝達情報量は約0.4bits の向上がみられた。参加者 F は視神経萎縮であり、視野は 0° から耳側 25° までの絶対暗点があるため偏心視であるが、MP-3 による固視点感度および固視の安定性は良好であった (巻末資料⑥)。1日の読みトレーニングにおいて、ESP 読み速度の向上がみられたのは参加者 B と E、紙または iPad のページリーディングの読み速度の向上がみられたのは参加

者 E、F であった。参加者 B は今回の参加者の中ではそもそも速い読み速度を達成しており、すでに読み速度は高まった状態であると考えられる。特に、参加者 E・F の固視が安定しておりビジュアル・スパンや中心伝達情報量が拡大しやすかった可能性がある。参加者 B は ESP 読み速度が大きく向上しているが、これは瞬間提示の読みトレーニングにより短い提示時間で読むことに慣れ、ESP の刺激 1 文を読む時間が短くなったからであると考えられる。参加者 B は固視の不安定により、今回のトレーニング効果としてビジュアル・スパンの改善やページリーディングの読み速度向上には至らなかったが、数文字が提示される ESP は効果があった。本研究結果から、比較的軽度の弱視状態の人、特に固視が安定している人において、1 時間の読みトレーニングであっても、日常的な読み速度の向上が期待できることが示唆された。仮説として読み速度向上の要因としてビジュアル・スパンまたは中心伝達情報量の向上をあげていた。ビジュアル・スパンまたは中心伝達情報量が拡大した参加者 E、F は ESP 読み速度の向上がわずかにみられ、ページリーディングの読み速度の向上が見られた。ビジュアル・スパンが向上して読み速度が高まることは、Chung (2021) と同様である。参加者 B はビジュアル・スパンなどの改善には至っていないが、ESP 読み速度が向上しており、このことから Cheong et al. (2008) のように、主に文字処理の正確性が関係する伝達情報量の向上と、より短い処理時間で文字を認識という 2 つの要因が読み速度に関わっていると示唆された。読みトレーニングは仮名無意味語 3 文字を音韻化する作業であるが、仮名漢字混じり文の読み速度が向上したことから文字の種類によらず文字の特徴を捉えることが速くなったと考えられる。つまり、視覚像から物体の形状の表象が高速化されたため、漢字仮名混じり文の読みが速くなったと考察できる。しかし、今回は、この点を変数として扱っていないため断定はできないが、ビジュアル・スパンや中心伝達量の拡大とページリーディングに読み速度の関係から、文字の形状を表象化する処理速度向上により読み速度が高まったことは支持されると考えられ、このことは先行研究との関連性からも妥当な解釈であると考えられる。そして、このビジュアル・スパンや中心伝達情報量の拡大に、今回実施した読みトレーニングの貢献があるとことを示唆する

結果であると考えられる。

グループ b は読みトレーニング刺激の最短の提示時間 50ms に到達せず、提示時間が変化しないまたは 1 回の短縮であった参加者 C・D で構成された。それぞれ小数視力が 0.02 と 0.1 であった。両参加者のトレーニング開始時の提示時間は 100ms 以下の短い提示時間から始まっており、提示時間がほとんど短縮されなかったグループである。参加者 C のプレ・ポストを比較すると、ESP 読み速度は 1 分間に読める文字数が約 1.1 倍、紙の読み速度が約 1 倍、iPad 読み速度が約 1 倍となった。ビジュアル・スパンと中心伝達情報量はともに向上がみられなかった。参加者 C は、概ね広い視野であり、固視の安定度は測定不能であった(巻末資料③)。参加者 D のプレ・ポストを比較すると、ESP 読み速度は約 1.1 倍、紙の読み速度が約 1.1 倍、iPad 読み速度が約 1 倍となった。ビジュアル・スパンと中心伝達情報量はともに向上がみられなかった。参加者 D は、左眼の小数視力が 0、右眼は広い視野を持っており、MP-3 の固視点感度は比較的不安定、固視の安定性は不安定であった(巻末資料④)。両参加者の読み速度はあまり変化が確認されなかった。グループ b は読みトレーニングの提示時間が短縮せず、文字処理速度が高止まりの状態であることがわかる。Yu et al. (2010a) はトレーニング 1 日目が最もビジュアル・スパンの拡大に影響を与えていることを示している。今回のグループ b が 1 時間のトレーニングで効果が確認されなかったことから、本研究の読みトレーニングを継続しても読み速度の大きな効果は見込めない可能性がある。約 1 時間の本研究の読みトレーニングを実施することで、当事者の読み処理速度に与える効果を検討することができる可能性が示唆された。本研究では読みトレーニングの提示時間が 100ms 以下であり、視力は 0.1 以下で広い視野を獲得していたが、読みトレーニング効果は少なかった。

グループ c は読みトレーニングの提示時間が 2 段階以上短縮した参加者 A・G で構成され、参加者の小数視力は 0.02 未満であり重度の低視力であった。参加者 A のプレ・ポストの比較をすると、ESP 最大読み速度は 1 分間に読める文字数が約 1.5 倍、紙の読み速度が約 1.1 倍、iPad 読み速度が約 1.1 倍となった。ビジュアル・スパンの変化は確認されなかつ

った。読みトレーニング時の刺激提示時間は 483ms から 305ms に低下した。参加者 A の視野は広く、MP-3 の測定は不能であった（巻末資料①）。参加者 G のプレ・ポストの比較をすると、3つの読み速度は変化がなく、ビジュアル・スパンは約 3 bits、中心伝達情報量は約 1.4 bits 増加した。読みトレーニング時の刺激提示時間は 915ms から 364ms に低下した。参加者 G は視野が非常に狭く、MP-3 の測定は困難であった（巻末資料⑦）。両参加者のトレーニング開始時の提示時間は、約 500ms～900ms であり初回の提示時間が最も長いグループであった。このことから、初回の提示時間が約 500ms 以上の長い人はトレーニングの提示時間が短縮しやすい傾向が確認された。ただし、500ms は今回観察された値であり、今後さらなる検討が必要である。参加者 A は瞬間提示する読みトレーニングで処理速度が高まることにより ESP の読み速度が向上にしたいと考えられる。参加者 A は ESP の読み速度が大きく向上しており、ビジュアル・スパンの拡大より時間的処理の改善が大きかったことがわかる。参加者 G は読み速度にほとんど変化は見られないが、ビジュアル・スパンや中心伝達情報量が向上しており、文字の正確性は向上したことが伺える。トレーニング回数の影響からページリーディングの読み速度は変化しなかったと考えられる。参加者 G はトレーニング前の読み速度が 100cpm 未満であり、参加者の中で最も低かった。Yu et al. (2018) の結果と同様に開始時の読み速度が低い場合はトレーニング効果が現れやすいこと考えていたが、本研究のトレーニング設定時間では読み速度に直結した効果は少なかったと考えられる。参加者 G のゴールドマン視野検査の結果から、見えている範囲はとても狭いが、ビジュアル・スパンの拡大つまり、文字の正確性と正確に見える範囲が広がっていた。このことは、トレーニングの継続が速度向上につながる可能性を示している。低視力により必然的に臨界文字サイズは大きくなり、トレーニングの文字サイズは 10° 以上を使用していた。グループ c は読み速度に与える読みトレーニング効果が小さく、これは低解像度で文字の知覚に負荷があったことが要因に挙げられる。文字を認識できる提示時間の短縮はみられ瞬間提示に慣れたことが考えられる。読み速度向上に向け、今回の読みトレーニングとは異なる手続きが必要である可能性やトレーニングの試行数を増やすこと

で読み速度が向上する可能性を残しており、今後の検討課題である。

プレテストのアンケートによると、1週間の合計読書時間はグループ a の参加者 B が 7 時間、E が 0 時間、F が 14 時間、グループ b の参加者 C が 0 時間、D は 5 時間、グループ c の参加者 A は 70 時間、G は 1 時間であった。本研究は大学の春休み期間に実施したため、合計読書時間が 0 時間の人は大学の授業期間は文字を読んでいることを報告している。本研究の結果からはグループ間で読書時間の一貫性はなく、読みトレーニング効果との関係は見出せなかった。

本研究では見え方の異なる参加者に 1 時間のトレーニングを行い、トレーニング効果を測った。読みトレーニングによりビジュアル・スパンや中心伝達情報量を拡大することで読み速度の向上につながることを確認できた。本研究の読みトレーニングでは文字を正確に処理することおよび短い時間で処理をすることがトレーニング効果として確認された。これは Cheong et al. (2008) が RSVP 読み速度に与える影響として文字を正確に処理できる能力が要因になっていることを挙げたことから、読み速度向上に重要な要素であることがわかる。最大 500 試行の仮名無意味語 3 文字のトレーニングは Chung (2021) や Yu et al. (2018) などの先行研究よりも少ないトレーニング試行数で、読み速度向上を確認できたことは新しい発見であり、知覚学習を用いる読みトレーニングで速度向上が期待される。第 5 研究では、偏心視や中心視の有無に関わらず読みトレーニングで読み速度の向上がなされた。同じ読みトレーニング法で様々な見え方をする弱視の状態と同程度の効果が確認された。読み速度向上が実感できた参加者は 1 人のみであった。第 4 研究ではトレーニング回数が多いことで、速度向上の自覚や文字の読み方を自覚することができていたため、現段階では読みトレーニングは継続することでより大きな効果を発揮し、参加者の実感が伴うと考えられる。また、読みトレーニングの刺激は仮名の無意味語であり、漢字を使用していないが漢字仮名混じり文の読み速度が速くなった。He et al. (2013) の研究ではハングル語の読みトレーニング効果が韓国語の読みだけでなく英語の読み速度向上にも効果が出たことを示している。他の研究では晴眼者の擬似偏心視でトレーニングしていない視野で

測定した読み速度が向上していることを明らかにされている（Chung et al., 2004; Yu et al., 2010a; Yu et al., 2010b）。これらの結果に至った可能性として脳の可塑性が挙げられており、本研究も仮名無意味語で文字自体の処理速度を高めた結果、トレーニングしていない漢字も処理速度が向上したことが考えられる。第5研究ではESPだけでなくページリーディングの読み速度も向上していた。ページリーディングは眼球運動を伴う読み方であり伝達情報量が増えることで正確に文字を処理できる範囲が広がることで速度向上に役立つと考えられる。

今後、より簡易に効果の高い読みトレーニングの開発が目指される。晴眼者が文字情報を取得する際に、全ての文字を内声化しない方が速く読めることが示されている（森田・小澤, 2015）。今回の読みトレーニングでは文や文章を音読することにより正確に文字を音韻化して読み速度を求めた。日常生活では黙読することの方が多く、音読して情報を理解することは少ない。本研究は黙読の読み速度は測定しておらず、黙読の読み速度向上について考察することができない。よって更なる研究課題として、文を黙読で読み、その内容理解クイズを行うことや、内容を理解できたという主観評価をすることで実際の読みに即した読み速度の検討をすることができると考えられる。また、成人と子供でも読みトレーニング結果は異なる可能性があり、特に低学年の子供では黙読より音読をすることの理解が高いことが示されている（高橋, 2012）。これらの点を踏まえ、年齢に即した読みトレーニングの検討が研究課題として残されている。

本研究では一部の参加者で読み速度向上がみられたが、しかしながらポストテストのアンケートでは参加者の自覚として読みが速くなったことや文字を楽に読めることが挙げられていない。本研究ではトレーニング時間が短かったため実感することができなかった可能性がある。今後読みトレーニングを継続して行うことで更なる読み速度の向上がおき、それに伴い速く読めるようになったという実感が伴うと考えられる。

第 2 項 トレーニングに向けた読み特性

読みトレーニングを学校現場等で活用するためには、実施者にも参加者にも少ない負担で短時間の実施が理想である。読みトレーニングの文字サイズを設定する際に Chung et al. (2004) や Yu et al. (2010a) のような先行研究と同様に、本研究では臨界文字サイズを起点として文字サイズを決定した。MNREAD や RSVP などの手法を用いて臨界文字サイズを求めるためには小さい文字サイズで提示される刺激文を参加者が読む必要があり、文字が小さくて見えにくい環境で読むことによる参加者の負担がある。よって、臨界文字サイズと同様の文字サイズの求め方として、可能な限り簡易で参加者の負担が少ない方法を探ることを目的に、「選好文字サイズ」という新たな指標を用いた。選好文字サイズは参加者に黙読で読みやすい文字サイズを決定するものであり、参加者が読めないと判断した文字サイズは読み飛ばすことができるため、参加者の負担が小さいことが特徴である。選好文字サイズと臨界文字サイズと比較した結果、選好文字サイズと臨界文字サイズには有意差があり、選好文字サイズは臨界文字サイズより大きくなった。本研究の選好文字サイズは 5 分程度と臨界文字サイズより短時間で求められ、参加者にとって小さすぎる文字を読まなくて良いことが利点であったが、本研究では、最大読み速度を達成できる最小の文字サイズである臨界文字サイズと自身が読みやすいと感じる文字サイズは異なっており、現段階では臨界文字サイズと同様の文字サイズを求めるためには従来の方法を用いる方法が確実であると考えられる。MNREAD チャートを用いて「快適に読める最小の文字サイズ」を求めた Latham and Macnaughton (2022) や Latham et al. (2023) は MNREAD の臨界文字サイズと同等であることを示しており、MNREAD の臨界文字サイズよりも短時間で求めることができることを明らかにしている。本研究は臨界文字サイズと選好文字サイズの測定で刺激文や提示方法が異なり、文字サイズに有意差が確認された可能性がある。本研究は読みトレーニングの環境として選好文字サイズを求めたため、同じ刺激文の使用を避けモニターに映る 1 行を提示した。これらの刺激提示方法の差異により臨界文字サイズと同様の文字サイズを求めることができなかつたと考えられる。選好文字サイズはモニターに映る端

から端までの1行が読みやすい文字サイズを反映している。臨界文字サイズの測定では、刺激は数文字の提示であるため、モニターに提示される文字幅が異なった。選好文字サイズの刺激は文字幅が広いため大きい文字サイズになった可能性がある。弱視のある人の読みやすい文字サイズを検討するためには、参加者を増やし、検討する必要がある。

本研究ではESP読みから推定された臨界文字サイズの1.4倍の大きさが紙読みに採用され、iPad読みは参加者のピンチアウトによる文字の拡大と参加者の好む視距離に設定された。同じ約100文字の文章であるページリーディングであるが、文字サイズの決め方は異なる。そこでiPadと紙読み速度を比較した結果が、有意差は確認されなかった。本研究では臨界文字サイズが参加者の日常的な読みで採用している文字の大きさを反映した結果であると考えられる。三科ら(2017)は、弱視の人を対象にiPadと紙読みを比較した研究では一般的な文章ではiPadの読み速度が速く、理療化で扱う文章は紙の読み速度が速いことを示している。三科ら(2017)はiPad読みの利点として輝度の調節を挙げており、本研究でも参加者が輝度を調整できたことが速度に反映された可能性がある。本研究の参加者は日常的にiPadを使用していない人を含んでいたが、紙とiPadの速度に有意差は確認されなかった。iPadの使用歴が各媒体の読み速度に影響を及ぼす可能性は少ないことが示唆された。しかし、先行研究のように文章の内容によっては速度が変動する可能性があり、読み媒体へのさらなる研究が必要である。

第3項 まとめ

本研究では、以下のことが明らかになった。

- ・ページリーディングの読み速度にはビジュアル・スパンが関係していることが示された。
- ・読みトレーニングにおいて中心暗点の有無にかかわらず読み速度や文字を正確に処理する効果があることが示された。
- ・特に視力が0.25以上の固視の安定している人は読みトレーニングの効果としてページリーディングの読み速度向上の可能性が示唆された。

・視力が 0.01 程度の低視力であれば、1 時間の読みトレーニングを実施することでページリーディングの読み速度向上までは確認されないが、瞬間提示された文字を認識する正確性の向上が確認された。

・選好文字サイズは臨界文字サイズとは異なる結果であった。選好文字サイズの刺激提示は臨界文字サイズの求め方と異なったため、刺激提示法などを検討する必要がある。

第5節 第2部の総合考察

第4研究では、弱視の2人が読みトレーニングに参加し、RSVP読み速度の向上が確認された。先行研究を参考に、日本語の読みトレーニング法の確立に向け、無意味綴りおよび平仮名有意味語、漢字熟語を瞬間提示するトレーニング1とRSVPを用いたトレーニング2で構成された。RSVP読み速度は向上され、ページリーディングの速度向上には至らなかった本研究の結果はChung（2021）と同様であった。本研究の読みトレーニングは同位置に提示されたため、固視位置付近の文字処理が高速化され、固視位置の周辺領域における情報取得に大きな変化はなかった可能性がある。トレーニング刺激は3文字以下であり、4文字以下で提示されたRSVP読みの処理が高まったと考えられる。トレーニング1では読み速度が向上していたが、トレーニング2では読み速度にほとんど変化はなく、効果は少なかった。トレーニング1で文字処理速度が高い水準であったため4日間のトレーニングでは効果が確認されなかった可能性がある。第4研究では、参加者が2名と少なく、参加者の見え方も限定的であったため、第5研究ではさまざまな見え方の読み速度向上に興味がある人に参加の募集をした。

より実用的な読みトレーニングにするため少ない手順と短時間のトレーニングで参加者の負担を減らすため、第5研究では仮名無意味語のみを扱いその効果を測った。第5研究では、弱視7名が約1時間の読みトレーニングに参加し、一部の参加者はページリーディングの向上とビジュアル・スパンおよび中心伝達情報量の向上がみられた。読み速度向上には文字の処理速度および文字を正確に処理する能力がかかわっていることが示唆された。参加者を3つのグループに分けて考察を進めたところ、そもそも速く読んでいる人には効果が少なく、読み速度が低い人に特に効果が確認された。ページリーディングの読み速度を高めるために、ビジュアル・スパンや中心伝達情報量を向上させることが重要であり、読みトレーニングはそれらを改善する可能性がある。仮名3文字で読み速度が改善できることは、漢字を刺激に取り入れることがなく、小学校の既習漢字に合わせた学年ごとの読みトレーニングを作成しなくてよい点から児童生徒にも実施することができる。今後の課

題として、参加者の年齢を変えて、読みトレーニング効果を明らかにすることが必要である。

第3部 総合考察と今後の展望

第 8 章 総合考察

第 1 節 本研究のまとめ

弱視のある人は視覚を介して文字読むことに困難を抱える場合がある。その困難を改善するために、文字知覚の特性を晴眼者と比べる個人要因や、文字の大きさや輝度など読み環境について研究が進められている (Chung et al., 1998; Ohnishi et al., 2020)。これらの研究は、世界中で様々な言語を対象に行われており、日本語においても読みに必要な文字サイズなどが検討されてきた (三輪ら, 1998)。本研究の主要な目的は読みトレーニングの効果を測り、読みトレーニング法の効果を検討し実効性のある読みトレーニングを提案することであった。研究全体の概要を Fig. 9-1 に示した。

第 1 から第 3 研究では晴眼者を対象に擬似偏心視状態で文字を提示し、その知覚特性を明らかにした。第 1 研究から、漢字は仮名より複雑であるため大きい文字サイズが必要であること、文字サイズは提示時間の影響を受けることが示唆された。文字知覚に際して偏心視は中心視より大きい文字サイズを必要とすることは周知の事実であるが、仮名と漢字それぞれにおいて認識できる文字サイズを明らかにしたことが第 1 研究の新規性である (今津・氏間・田中, 2020)。Legge et al. (2001) は偏心度が大きいほどビジュアル・スパンの大きさが提示時間の影響を強く受けていた。本研究で文字サイズが提示時間の影響を強く受けたことは文字知覚において同様の結果である。低解像度の状態で文字を正確に知覚するためには、文字サイズが大きかったとしても晴眼者より長い時間が必要である。第 1 研究ではさらに、複雑度の高い漢字の知覚特性を明確にしたことになる。

第 1 研究では有意味語が使用されていたが、第 2 研究ではできるだけ推論など他の要因を排除するため、平仮名 1 文字を使用して知覚できる最小の文字サイズを偏心度ごとに測定した。読みトレーニングで提示する文字サイズを推定するために、偏心 20° の条件を追加した。第 2 研究では偏心度と文字知覚閾で回帰直線を表すことで、読みトレーニングの参加者の偏心度で必要な文字サイズを推定できるようにした (今津・氏間・田中, 2021)。

第3研究では、第1研究および第2研究で得られた成果に基づき、偏心度に応じて文字種ごとの文字サイズを決定して実験を行った。その結果、偏心視の文字認識精度は中心視よりも低く、偏心視では特に語彙の推論が重要であることが示唆された（今津・氏間・田中, 2022）。偏心視は低解像度であるが故に、文字を拡大しても晴眼者ほどはっきり見えず、文字処理を速めるためには文字の知覚と同時に推論することが必要であると考えられる。特に、文字数が増えることでクラウディング現象が生じ、知覚に影響を与える可能性がある。これは文字と文字の間だけではなく、文字内の線と線の間でも起きる現象であり、He et al. (2018b) はクラウディングが文字知覚に影響を及ぼすことをまとめている。本研究では、混み合い度の高い漢字を含めその影響を示すことができた。

第4・5研究では日本語の読みトレーニングの検証を行った。第4研究では、2つのトレーニングを4日間ずつ実施し、Chung (2021) や Yu et al. (2010b) などの先行研究を参考に日本語の効果を確認した。第5研究では、さまざまな見え方の人に読みトレーニングの検証を行った。これらの読みトレーニングについては第2節で詳しく述べる。

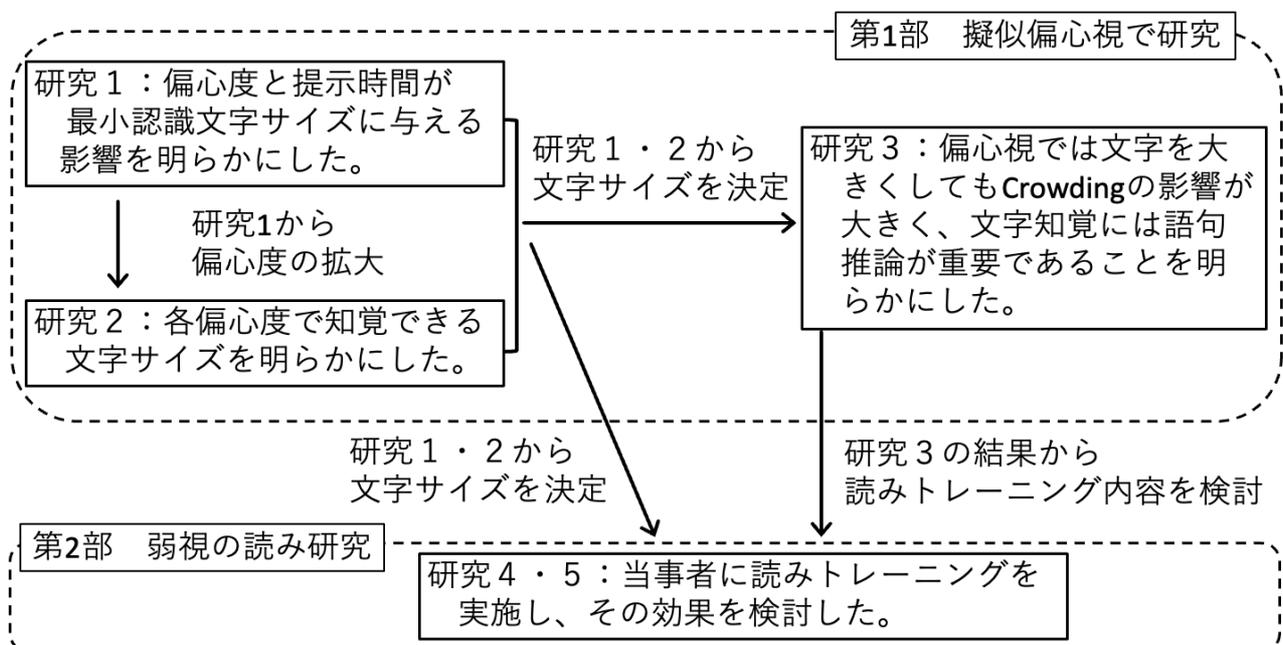


Fig. 9-1 研究成果概要

第2節 日本語の読みトレーニング効果

本研究では、日本語における弱視のある読みトレーニング法の効果の検証を目的に5つの研究を行った。それらの研究から日本語の読みトレーニング法について総合的に考察を進めた。

読みトレーニング効果である読み速度はRSVPやESPが用いられた。RSVP読み速度やESP読み速度の測定は、参加者の視覚特性に応じ、様々な文字サイズで提示しているが、参加者により見えやすい文字サイズは異なるため第1と第2研究から当事者が必要な文字サイズに検討をつけ、その文字サイズを起点として刺激の提示をした。晴眼者の擬似偏心視での文字知覚実験から視覚障害のある人の文字サイズを予測することができた。

本研究で用いた読みトレーニングでは、文字の処理速度を高めることを狙いに各参加者の読み速度から提示時間を設定し、正答率に応じて提示時間を設定した。この手続きを用いることで、文字認識の高い正確性を担保した状況で文字の提示時間を短くできることが特徴である。実際に、読みトレーニングでは文字提示時間を短くすることができた参加者がいた。第5研究ではトレーニング効果として読み速度だけでなくビジュアル・スパンと中心伝達情報量を測定した。その結果、約1時間の読みトレーニングによりビジュアル・スパンの向上や中心伝達情報量の向上が確認された参加者もいた。高い正答率を保持しながら瞬間提示する文字を認識するため、Yu et al. (2018) や Chung (2021) のように、文字を正確に処理できる指標であるビジュアル・スパンが拡大したことが考えられる。ビジュアル・スパンの提示時間は200ms または参加者が平仮名3文字を認識できる提示時間(threshold duration) で提示されたが、全参加者の読みトレーニング提示時間はビジュアル・スパンより短かった。正答率に応じて提示時間を短くする読みトレーニング法が、文字処理速度を向上させ、より正確に文字を捉えられることにつながったと考えられる。第5研究ではビジュアル・スパンの大きさはページリーディングの読み速度と関係があることを示唆しており、ビジュアル・スパンが大きくなることで読み速度が向上されると考えられる。有意差は確認されなかったもののビジュアル・スパンの一部である中心伝達情報

量が大きいほど紙読みが速い傾向はみられていることからビジュアル・スパンとページリーディングの関係は先行研究 (Kwon et al., 2007) とも一貫する傾向を示したといえる。

第3節 今後の展望

各章でそれぞれの研究の限界については触れているので、本節では読みトレーニングの研究動向にかかわる課題を整理した。まず第1に、読みトレーニングの汎化として、本研究ではページリーディングの読み速度を測るときの読み方を統一しており、参加者が日常的に使用している読み方ではなかった可能性がある。読みトレーニングの目的としてページリーディングの読み速度向上が挙げられるが、文章を読む際の視覚補助具に拡大読書器や拡大鏡、タブレットの文字を読むなど様々な方法があるため、今後は弱視の人が日常的に読む方法でプレテスト・ポストテストを行うことで更なる研究の発展が見込める。将来的に読みトレーニングを小中学生に行うことも考えられるが、その際は、小中学生は視覚補助具を使い始めたばかりであることや、技術を高めている段階の可能性がある。Corn et al. (2002) のように視覚補助具の使い方を指導すると読み速度が向上する場合があります、小中学生は視覚補助具を使用した読み速度が不安定な可能性がある。その点も考慮しながら、読みトレーニングの効果を測る必要がある。

第2に、本研究では仮名を用いてビジュアル・スパンを測ったが、一般的な文章は漢字・仮名・カタカナが複合的に使用されるため、その点を考慮したビジュアル・スパンの測定法が必要となる。漢字の学習途中である小中学生にビジュアル・スパンの測定を行うため、漢字習得年数などの要因を排除するために、本研究では仮名が刺激として採用された。中国語の漢字を用いたビジュアル・スパンの測定は Wang et al. (2014) が実施し、漢字の複雑度が大きくなるほどビジュアル・スパンは狭小することが示されている。日本語でも同様に、一般的に仮名より複雑である漢字を用いるとビジュアル・スパンは小さくなることが予想される。日本語のビジュアル・スパンの測定については、今後さらに整理する必要がある。

第3に、ビジュアル・スパンと読み速度の関係について小学校低学年や高校生などを対象にして整理する必要がある。Kwon et al. (2007) は発達とともにビジュアル・スパンと読み速度が向上することを示しており、本研究で対象にした年齢よりも年齢幅を広げるこ

とでその傾向を明らかにできる。しかし、本研究の対象であった小学校中学年から中学生では発達に伴うビジュアル・スパンの拡張は確認されなかったため、さらに精査する必要がある。この点が整理されることで、日本語を対象にした発達とビジュアル・スパンの関係が明確になり、日本語の読みトレーニングの確立が進むことが期待できる。

第4に、読みトレーニングで用いられる文字サイズの求め方の検討が挙げられる。本研究では読みトレーニングの刺激サイズを Chung (2021) などと同様に RSVP や ESP 読みから求められた臨界文字サイズの 1.4 倍とした。刺激は本研究で作成した文を使用しており、読みトレーニングの対象年齢を下げた場合、漢字の学習状況などにより刺激文の難易度にばらつきが出ることが考えられる。読み速度と文字サイズに関して、Radner (2017) は複数の読みチャートの有効性を示している。例えば MNREAD は視距離を固定して実施するが、文字サイズが小さくなると視距離を縮めるという一般的な読み行動が反映されておらず、この点を意識した Bailey-Lovie Word and Sentence Reading Charts などの視距離を調整しながら読み速度を測るチャートが開発されている。このチャートは、日本語版は開発されておらず、弱視の視覚特性に応じた日本語の文字サイズの推定については今後さらに研究を要する分野である。

読みトレーニングを様々な年代で使用するためには、これらの課題を解決しながら、読みトレーニング効果を高めるトレーニング法の開発と基礎的な研究を進める必要がある。

引用文献

- Abdelnour, O. & Kalloniatis, M. (2001) Word acuity threshold as a function of contrast and retinal eccentricity. *Optometry and Vision Science*, 78(12), 914–919.
- 相羽大輔・渡辺正人・奈良理紗 (2021) 弱視児に対する視覚補助具の使い分けに関する指導実践. *障害科学研究*, 45, 285-298.
- 阿久津羊巳・近藤雄希 (2010) 文字の読みやすさ 2 : 読みやすさと読みの速さの比較. *日本官能評価学会誌*, 14(1-2), 26-33.
- Alves, L. M., Santos, L. F., Miranda, I. C., Carvalho, I. M., Ribeiro, G. D., Freire, L. D., Martins-Reis, V. D., & Celeste, L. C. (2021) Reading speed in elementary school and junior high. *Communication Disorders Audiology and Swallowing*, 33(5), Article e20200168.
- Andersen, G. J., Ni, R., Bower, J. D., & Watanabe, T. (2010) Perceptual learning, aging, and improved visual performance in early stages of visual processing. *Journal of Vision*, 10(13), Article 4.
- Anstis, S. M. (1974) A chart demonstrating variations in acuity with retinal position. *Vision Research*, 14(7), 589-592.
- Arditi, A. (1999) Elicited sequential presentation for low vision reading. *Vision Research*, 39(26), 4412–4418.
- 朝の読書推進協議会 (2020) 朝の読書全国都道府県別実施校数. 朝の読書推進協議会, 2020年3月2日, https://www.mediapal.co.jp/asadoku/data_2020/20200302.html (2023年11月24日閲覧)
- Astle, A. T., Webb, B. S., & McGraw, P. V. (2011) The pattern of learned visual improvements in adult amblyopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 52(10), 7195–7204.
- Bernard, J. B. & Chung, S. T. L. (2018) Visual acuity is not the best at the preferred retinal locus in people with macular disease. *Optometry and Vision Science*, 95(9), 829–836.
- Bernard, J. B., Arunkumar, A., & Chung, S. T. L. (2012) Can reading-specific training stimuli improve the effect of perceptual learning on peripheral reading speed? *Vision Research*, 66, 17–25.
- Bernard, J. B., Kumar, G., Junge, J., & Chung, S. T. L. (2013) The effect of letter-stroke boldness on reading in central and peripheral vision. *Vision Research*, 84, 33-42.
- Besner, D. & Hildebrandt, N. (1987) Orthographic and phonological codes in the oral reading of Japanese kana. *Journal of experimental psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 13(2), 335-343.
- Bouma, H. (1970) Interaction effects in parafoveal letter recognition. *Nature*, 226, 177-178.
- Campana, G. & Maniglia, M. (2015) Editorial: Improving visual deficits with perceptual learning. *Frontiers in Psychology*, 6, Article 491.
- Carroll, T. J. (1961) *Blindness*. Brown and Company, Boston. 樋口正純訳 (1977) 失明. 社会福祉法人 日本盲人福祉委員会.
- Chaparro, A. & Young, R. S. (1993) Reading with rods: The superiority of central vision for rapid reading. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 34(7), 2341–2347.
- Cheong, A. M. Y., Legge, G. E., Lawrence, M. G., Cheung, S.-H., & Ruff, M. A. (2007) Relationship between slow visual processing and reading speed in people with macular degeneration. *Vision Research*, 47(23), 2943-2955.
- Cheong, A. M. Y., Legge, G. E., Lawrence, M. G., Cheung, S.-H., & Ruff, M. A. (2008) Relationship between visual span and reading performance in age-related macular degeneration. *Vision Research*, 48(4), 577-588.
- Chung, S. T. L. (2002) The effect of letter spacing on reading speed in central and peripheral vision. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 43(4), 1270-1276.
- Chung, S. T. L. (2004) Reading speed benefits from increased vertical word spacing in normal peripheral vision. *Optometry and Vision Science*, 81(7), 525-535.
- Chung, S. T. L. (2007) Learning to identify crowded letters: Does it improve reading speed? *Vision research*, 47(25), 3150-3159.
- Chung, S. T. L. (2011) Improving reading speed for people with central vision loss through perceptual learning. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 52(2), 1164–1170.
- Chung S. T. L. (2013) Cortical reorganization after long-term adaptation to retinal lesions in humans. *Journal of Neuroscience*, 33(46), 18080–18086.

- Chung, S. T. L. (2020) Reading in the presence of macular disease: A mini-review. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 40(2), 171–186.
- Chung, S. T. L. (2021) Training to improve temporal processing of letters benefits reading speed for people with central vision loss. *Journal of Vision*, 21(1), Article 14.
- Chung, S. T. L. & Bernard, J. B. (2018) Bolder print does not increase reading speed in people with central vision. *Vision Research*, 153, 98–104.
- Chung, S. T. L. & Truong, S. R. (2013) Learning to identify crowded letters: Does the learning depend on the frequency of training? *Vision research*, 77, 41–50.
- Chung, S. T. L., Jarvis, S. H., & Cheung, S.-H. (2007) The effect of dioptric blur on reading performance. *Vision Research*, 47(12), 1584–1594.
- Chung, S. T. L., Legge, G. E., & Cheung, S.-H. (2004) Letter-recognition and reading speed in peripheral vision benefit from perceptual learning. *Vision Research*, 44(7), 695–709.
- Chung, S. T. L., Levi, D. M., & Li, R. W. (2006) Learning to identify contrast-defined letters in peripheral vision. *Vision Research*, 46(6-7), 1038–1047.
- Chung, S. T. L., Levi, D. M., & Tjan, B. S. (2005) Learning letter identification in peripheral vision. *Vision Research*, 45(11), 1399–1412.
- Chung, S. T. L., Li, R. W., & Levi, D. M. (2008) Learning to identify near-threshold luminance-defined and contrast-defined letters in observers with amblyopia. *Vision Research*, 48(27), 2739–2750.
- Chung, S. T. L., Li, R. W., & Levi, D. M. (2012) Learning to identify near-acuity letters, either with or without flankers, results in improved letter size and spacing limits in adults with amblyopia. *PLOS ONE*, 7(4), Article e35829.
- Chung, S. T. L., Mansfield, J. S., & Legge, G. E. (1998) Psychophysics of reading XVIII: The effect of print size on reading speed in normal peripheral vision. *Vision Research*, 38(19), 2949–2962.
- Coates, D. R. & Chung, S. T. L. (2014) Changes across the psychometric function following perceptual learning of an RSVP reading task. *Frontiers in Psychology*, 5, Article 1434.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001) DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, 108(1), 204–256.
- Corn, A. L., Wall, R. S., Jose, R. T., Bell, J. K., Wilcox, K., & Perez, A. (2002) An initial study of reading and comprehension rates for students who received optical devices. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 96(5), 322–334.
- Crossland, M. D. & Rubin, G. S. (2006) Eye movements and reading in macular disease: Further support for the shrinking perceptual span hypothesis. *Vision Research*, 46(4), 590–597.
- デュアー・アンドリュウ (2013) 読書が子どもの発達に及ぼす影響. 東海学院大学紀要, 7, 261–267.
- Dylman, A. S. & Kikutani, M. (2018) The role of semantic processing in reading Japanese orthographies: An investigation using a script-switch paradigm. *Reading and Writing*, 31, 503–531.
- 遠藤厚志 (2015) 液晶ディスプレイにおける表示文字の視認性に関する工学的解析. 熊本高等専門学校研究紀要, 6, 13–19.
- Erbeli, F., Shi, Q., Campbell, A. R., Hart, S. A., & Woltering, S. (2021) Developmental dynamics between reading and math in elementary school. *Developmental Science*, 24(1), Article e13004.
- Faubert, J. & Overbury, O. (1987) Active-passive paradigm in assessing CCTV-aided reading. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 64(1), 23–28.
- Fellenius, K. (1999) Reading environment at home and at school of Swedish students with visual impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 93(4), 211–224.
- Flom, B. C. (1963) The optometrist's role in the reading field. In Hirsch, M. J., & Wick, R. E. (Eds.), *Vision of children*. Chilton book company, New York & London, 371 – 389.
- Flom, M. C., Heath, G. G., & Takahashi, E. (1963) Contour interaction and visual resolution: Contralateral effects. *Science*, 142(3594), 979–980.
- Fujita, K., Oda, K., Watanabe, J., & Yuzawa, M. (2008) How normal eyes perform in reading low-contrast texts. *Japanese Journal of Ophthalmology*, 52(1), 44–47.
- 藤田京子・安田典子・小田浩一・湯沢美都子 (2006) 緑内障による中心視や障害と読書成績. 日本眼科学会雑誌, 110(11), 914–918.
- 伏見貴夫・伊集院睦雄・辰巳 格 (2000) 漢字・仮名で書かれた単語・非語の音読に関する

- るトライアングル・モデル (1) . 失語症研究, 20(2), 31-42.
- Gibson, E. J. (1963) Perceptual learning. *Annual Review of Psychology*, 14, 29–56.
- Goodrich, G. L., Mehr, E. B., Quillman, R. D., Shaw, H. K., & Wiley, J. K. (1977) Training and practice effects in performance with low-vision aids: A preliminary study. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 54(5), 312–318.
- Gupta, A., Mesik, J., Engel, S. A., Smith, R., Schatza, M., Calabrèse, A., van Kuijk, F. J., Erdman, A. G., & Legge, G. E. (2018) Beneficial effects of spatial remapping for reading with simulated central field loss. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 59(2), 1105–1112.
- 濱田秀行・秋田喜代美・藤森裕治・八木雄一郎 (2013) 子どもの頃の読書が成人の意識・意欲・行動に与える影響. 読書科学, 58(1), 29-39.
- 花沢明俊 (2007) 神経生理Ⅱ. 内川恵二・篠森敬三 (編), 視覚Ⅰ. 朝倉書店. 45-63.
- 長谷川要・久野雅樹 (2017) 字体の太さが文字認識に及ぼす影響. 言語処理学会第 23 回年次大会発表論文集, 134-137.
- He, Y., Baek, S., & Legge, G. E. (2018a) Korean reading speed: Effects of print size and retinal eccentricity. *Vision research*, 150, 8–14.
- He, Y., Kwon, M., & Legge, G. E. (2018b) Common constraints limit Korean and English character recognition in peripheral vision. *Journal of Vision*, 18(1), Article 5.
- He, Y. & Legge, G. E. (2017) Linking crowding, visual span, and reading. *Journal of Vision*, 17(11), Article 11.
- He, Y., Legge, G. E., & Yu, D. (2013) Sensory and cognitive influences on the training-related improvement of reading speed in peripheral vision. *Journal of Vision*, 13(7), Article 14.
- 樋口大樹・奥村優子・小林哲生 (2019) 幼児のひらがな読み・書き習得に及ぼす文字特性の影響. 音声言語医学, 60, 113-120.
- 平野礼樹 (2009) モバイル端末ディスプレイにおける最適表示文字サイズの評価. はせ研卒研, 2009 年 4 月 20 日, <https://www.nagoya-bunri.ac.jp/~hasegawa/sotsuken/08/08-9.pdf> (2023 年 5 月 3 日閲覧)
- Horowitz-Kraus, T., Schmitz, R., Hutton, J. S., & Schumacher, J. (2016) How to create a successful reader? Milestones in reading development from birth to adolescence. *Acta Paediatrica*, 106(4), 534-544.
- Hübner, N., Merrell, C., Cramman, H., Little, J., Bolden, D., & Nagengast, B. (2022) Reading to learn? The co-development of mathematics and reading during primary school. *Chile Development*, 93(6), 1760-1776.
- 井戸健二・林 久子・宮木宏明・原田 望 (2002) 高精細 LCD の文字可読性に関する人間工学的評価. 映像情報メディア学会技術報告, 26(16), 13-17.
- 五十嵐信敬 (1971) 形態知覚検査の標準化. 弱視教育, 9(5), 90-97.
- 伊集院睦雄・伏見貴夫・辰巳 格 (2000) 漢字・仮名で書かれた単語・非語の音読に関するトライアングル・モデル (2) . 失語症研究, 20(2), 43-51.
- 今野真二 (2023) 日本語における漢字列. 言語研究, 164, 17-38.
- 今津麻衣・氏間和仁・田中武志 (2020) 文字知覚に網膜偏心度と文字種が与える影響. ロービジョン学会, 20, 105-110.
- 今津麻衣・氏間和仁・田中武志 (2021) 中心視および偏心視の平仮名を用いた文字知覚閾について. ロービジョン学会, 21, 98-103.
- 今津麻衣・氏間和仁・田中武志 (2022) 中心視と偏心視が文字知覚に与える影響について. ロービジョン学会, 22, 45-52.
- 伊藤由紀夫 (1976) 弱視児の視認知の特性について-仮弱視児との比較を中心にして-. 視覚障害児教育研究, 8, 43-59.
- Iwata, M. (1984) Kanji versus Kana: Neuropsychological correlates of the Japanese writing system. *Trends in Neurosciences*, 7(8), 290-293.
- Kajii, N., Nazir, T. A., & Osaka, N. (2001) Eye movement control in reading unspaced text: the case of the Japanese script. *Vision Research*, 41(19), 2503-2510.
- 柿澤敏文 (2022) 2020 年度全国視覚障害幼児児童生徒の視覚障害原因等実態調査. 筑波大学人間系障害科学域.
- 柿澤敏文・中田英雄・谷村 裕 (1987) 弱視者の衝動性眼球運動の特性. 特殊教育学研究, 25(3), 31-39.

- Karni, A. & Sagi, D. (1991) Where practice makes perfect in texture discrimination: Evidence for primary visual cortex plasticity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 88(11), 4966–4970.
- 川崎聡大・奥村智人・中西 誠・川田 拓・水田めくみ・若宮瑛司 (2020) 児童期の読解モデルの構築とその妥当性の検証. *日本教育工学会論文誌*, 43, 161-164.
- 川嶋英嗣・小田浩一・藤田京子・中村仁美・香川邦生 (1999) 中心視野欠損のあるロービジョンの読書困難とこみあい現象. *総合リハビリテーション*, 27(10), 957-962.
- Kelly, K. R., Jost, R. M., De La Cruz, A., & Birch, E. E. (2015) Amblyopic children read more slowly than controls under natural, binocular reading conditions. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 19(6), 515–520.
- 清原一暁・中山 実・木村博茂・清水英夫・清水康敬 (2003) 文章の表示メディアと表示形式が文章理解に与える影響. *日本教育工学会論文誌*, 27(2), 117-126.
- 小林秀之 (1997) 弱視者の線の認知に関する基礎的研究. *特殊教育学研究*, 35(1), 23-32.
- 小林潤平 (2020) レイアウトデザインによる効率的な読みの支援. *日本画像学会誌*, 59(2), 219-227.
- 小林潤平・川嶋稔夫 (2018) 日本語文章の読み速度の個人差をもたらす眼球運動. *映像情報メディア学会誌*, 72(19), J154-J159.
- 国立教育政策研究所 (2019a) OECD 生徒の学習到達度調査(PISA)～2018 年調査国際結果の要約～. 国立教育政策研究所, 2019 年 12 月 2 日, https://www.nier.go.jp/kokusai/pisa/pdf/2018/03_result.pdf (2023 年 12 月 14 日閲覧)
- 国立教育政策研究所 (2019b) OECD 生徒の学習到達度調査 2018 年調査 (PISA2018) のポイント. 国立教育政策研究所, 2019 年 11 月 17 日, https://www.nier.go.jp/kokusai/pisa/pdf/2018/01_point.pdf (2023 年 11 月 28 日閲覧)
- Kondo, M., Nakamizo, S. & Araragi, Y. (2008) New equally readable charts based on anisotropy of peripheral visual acuity. *Japanese Psychological Research*, 50(2), 93-99.
- 窪田 悟・松戸堅治・丸本耕次 (1999) 高齢者の視覚特性に適合した液晶ディスプレイの文字表示条件. *映像情報メディア学会誌*, 53(9), 1335-1342.
- 楠瀬 悠・吉原将大・井田佳祐・薛 俊毅・伊集院睦雄・日野泰志 (2014) 語彙判断課題における仮名・漢字表記語の語長効果. *認知心理学研究*, 11(2), 105-115.
- Kwon, M., Legge, G. E., & Dubbels, B. R. (2007) Developmental changes in the visual span for reading. *Vision Research*, 47(22), 2889–2900.
- Latham, K. & Macnaughton, J. (2022) Is patient identification of 'comfortable' print size a useful clinical parameter for low vision reading assessment? *Ophthalmic & Physiological Optics*, 42(3), 482–490.
- Latham, K., Subhi, H., & Shaw, E. (2023) Further Validation of Comfortable Print Size as a Parameter for Clinical Low-Vision Assessment. *Translational Vision Science & Technology*, 12(6), Article 18.
- Lee, H.-W., Kwon, M., Legge, G. E., & Gefroh, J. J. (2010) Training improves reading speed in peripheral vision: Is it due to attention? *Journal of vision*, 10(6), Article 18.
- Lee, H.-W., Legge, G. E., Ortiz, A. (2003) Is word recognition different in central and peripheral vision? *Vision Research*, 43(26), 725-743.
- 李 志炯・崔 庭端・小山慎一・日比谷治雄 (2016) 文字の太さによる印象の変化. *デザイン学研究*, 63(5), 101-108.
- Legge, G. E. (2007) *Psychophysics of reading in normal and low vision*. Lawrence Erlbaum Associates, United States of America.
- Legge, G. E., Cheung, S.-H., Yu, D., Chung, S. T. L., Lee, H.-W., & Owens, D. P. (2007) The case for the visual span as a sensory bottleneck in reading. *Journal of Vision*, 7(2), 1-15.
- Legge, G. E., Mansfield, J. S., & Chung, S. T. L. (2001) Psychophysics of reading XX: Linking letter recognition to reading speed in central and peripheral vision. *Vision Research*, 41(6), 725-743.
- Legge, G. E., Pelli, D. G., Rubin, G. S., & Schleske, M. M. (1985a) Psychophysics of reading I: Normal vision. *Vision research*, 25(2), 239–252.
- Legge, G. E., Rubin, G. S., & Luebker, A. (1987) Psychophysics of reading V: The role of contrast in normal vision. *Vision research*, 27(7), 1165–1177.

- Legge, G. E., Rubin, G. S., Pelli, D. G., & Schleske, M. M. (1985b) Psychophysics of reading II: Low vision. *Vision research*, 25(2), 253–265.
- Levi, D. M., Song, S., & Pelli, D. G. (2007) Amblyopic reading is crowded. *Journal of Vision*, 7(2), 1-17.
- Logan, J. A. R., Hart, S. A., Cutting, L., Deater-Deckard, K., Schatschneider, C., & Petrill, S. (2013) Reading development in young children: Genetic and environmental influences. *Society for Research in Children Development*, 84(6), 2131-2144.
- Maniglia, M., Cottureau, B. R., Soler, V., & Trotter, Y. (2016) Rehabilitation approaches in macular degeneration patients. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 10, Article 107.
- 松田真幸 (1995) 近中心窩に提示された漢字表記語の意味的处理. 基礎心理学研究, 14(2), 87-95.
- 松田真幸 (2001) 日本語文の読みに及ぼす文節間空白の影響. 基礎心理学研究, 19(2), 83-92.
- McConkie, G. W. & Rayner, K. (1975) The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, 17(6), 578–586.
- 三科広行・佐々木皓平・佐藤 茜・本郷秀治・和田恒彦 (2017) 理療を学ぶ視覚障害者を対象とした紙と iPad Air 2 による読書速度比較. 理療教育研究, 39(1), 33-39.
- 三浦直宏・小林秀之 (2004) 単一弱視生徒に対する自立活動の指導内容に関する研究-全国実態調査及び指導内容を精選した実践を中心として-. 弱視教育, 42(2), 9-16.
- 三輪まり枝・林 弘美・菅野和子・久保明夫・石田みさ子・築島謙次 (1998) 正常者の読み速度について-ロービジョン者との比較において-. 日本視能訓練士協会誌, 26, 263-267.
- 三輪まり枝 (2010) 拡大読書器を用いた Preferred Retinal Locus (PRL) の獲得および偏心視の訓練. 日本ロービジョン学会, 10, 23-30.
- 宮崎清乃 (2002) 視覚障害をもつ人の生活上の障害と援助に関する一考察. 佛教大学大学院紀要, 30, 245-260.
- 森 絵都 (2016) みかづき. 集英社.
- 森田愛子 (2009) 大学生における速読トレーニングの効果の検証. 広島大学心理学研究, 9, 159-170.
- 森田愛子 (2012) 読み速度上昇とビジュアル・スパン拡大の関連. 基礎心理学研究, 31(1), 24-34.
- 森田愛子・小澤郁美 (2015) 視野の内声化のトレーニングが読み速度に与える影響. 日本教育工学会論文誌, 39, 45-48.
- Morizane, Y., Morimoto, N., Fujikawa, A., Kawasaki, R., Yamashita, H., Oguea, Y., & Shiraga, F. (2019) Incidence and causes of visual impairment in Japan: The first nation-wide complete enumeration survey of newly certified visually impaired individuals. *Japanese Journal of Ophthalmology*, 63(1), 26-33.
- Murata, N., Miyamoto, D., Togano, T., & Fukuchi, T. (2017) Evaluating silent reading performance with an eye tracking system in patients with glaucoma. *PLOS ONE*, 12(1), Article e0170230.
- Nguyen, N. X., Stockum, A., Hahn, G. A., & Trauzettel-Klosinski, S. (2011) Training to improve reading speed in patients with juvenile macular dystrophy: A randomized study comparing two training methods. *Acta Ophthalmologica*, 89(1), e82–e88.
- Nilsson, U. L., Frennesson, C., & Nilsson, S. E. (2003) Patients with AMD and a large absolute central scotoma can be trained successfully to use eccentric viewing, as demonstrated in a scanning laser ophthalmoscope. *Vision Research*, 43(16), 1777–1787.
- 野村駿介・大山剛史・迫 明仁 (2014) 文字書体の持つ読みにくさの評価と文字列情報処理過程に及ぼす影響. 電子情報通信学会技術研究報告, 113(500), 323-328.
- 小田浩一・今橋真理子 (1995) 文字認知の閾値と読みの閾値. *VISION*, 7(4), 165-168.
- 小田浩一・乙訓輝実・高橋あおい・大西まどか・杉山美智子 (2015) 親近性の高い文節の読み速度における文字サイズの効果. 日本心理学学会第 79 回大会, 559.
- Ohnishi, M., Otsukuni, T., Takahashi, A., Sugiya, M., Hirakimoto, M., Ogawa, S., Suzuki, A., Oshima, Y., Sheu, C.-F., & Oda, K. (2020) Effects of luminance contrast and character size on reading speed. *Vision Research*, 166, 52-59.
- Owsley, C., McGwin, G., Lee, P. P., Wasserman, N., & Searcey, K. (2009) Characteristics of low-

- vision rehabilitation services in the United States. *Archives Ophthalmology*, 127(5), 681-689.
- Pattillo, S. T., Heller, K. W., & Smith, M. (2004) The impact of a modified repeated-reading strategy paired with optical character recognition on the reading rates of students with visual impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 98(1), 28-46.
- Pelli, D. G., Burns, C. W., Farell, B., & Moore-Page, D. C. (2006) Feature detection and letter identification. *Vision Research*, 46(28), 4646-4674.
- Pressley, M. & Afflerbach, P. (1995) *Verbal protocols of reading: The nature of constructively responsive reading*. Lawrence Erlbaum Associates, New York.
- Radner, W. (2017) Reading charts in ophthalmology. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 255, 1465-1482.
- Rastle, K., Havelka, J., Wydell, T. N., Coltheart, M., & Besner, D. (2009) The cross-script length effect: Further evidence challenging PDP models of reading aloud. *Journal of experimental psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 35(1), 238-246.
- Ro-Mase, T., Ishiko, S., & Yoshida, A. (2020) Effect of illumination on reading performance in Japanese patients with age-related macular degeneration. *Japanese Journal of Ophthalmology*, 64(6), 597-604.
- Rubin, G. S. & Legge, G. E. (1989) Psychophysics of reading VI: The role of contrast in low vision. *Vision research*, 29(1), 79-91.
- 佐川光晴 (2016) 大きくなる日. 集英社.
- 斎田真也 (1993) 読みと眼球運動. 荻阪良二・中溝幸夫・古賀一男 (編), 眼球運動の実験心理学. 名古屋大学出版会, 167-197.
- 斎田真也 (2004) 速読と眼球運動. 基礎心理学研究, 23(1), 64-69.
- Sainio, M., Hyönä, J., Bingushi, K., & Bertram, R. (2007) The role of interword spacing in reading Japanese: An eye movement study. *Vision Research*, 47(20), 2575-2584.
- 斎藤洋典 (1981) 漢字と仮名の読みにおける形態的符号化及び音韻的符号化の検討. 心理学研究, 52(2), 266-273.
- 佐久間尚子・伊集院睦雄・伏見貴夫・辰巳 格・田中正之・天野成昭・近藤公久 (2005) NTT データベースシリーズ日本語の語彙特性第 8 巻. 三省堂.
- Sakurai, Y., Momose, T., Iwata, M., Sudo, Y., Ohtomo, K., & Kanazawa, I. (2000) Different cortical activity in reading of Kanji words, Kana words and Kana nonwords. *Cognitive Brain Research*, 9, 111-115.
- 三益亜美・宇野 彰・春原則子・金子真人・栗屋徳子・Wydell, T. N. ・狐塚順子・後藤多可志・蔦森英史 (2011) 単語長が仮名実在語と仮名非語の音読に及ぼす影響-小学校 5・6 年生の典型発達児と発達性読み書き障害児を対象として-. 音声言語医学, 52(1), 26-31.
- 佐野梨恵子・氏間和仁 (2019) 弱視特別支援学級での補助具の活用状況. 弱視教育, 57(3), 12-19.
- Sardegna, J., Shelly, S., Rutzen, A. R., & Steidle, S. M. (2002) *The encyclopedia of blindness and vision impairment*. Facts On File, New York. 中田英雄監訳 (2009) 盲・視覚障害百科事典. 明石書店.
- 澤田真弓 (2023) 第 2 章 視覚障害児の理解の基本. 小林秀之・澤田真弓 (編), 視覚障害教育の基本と実践. 慶應義塾大学出版会株式会社, 19-36.
- Seidenberg, M. S. & McClelland, J. L. (1989) A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review*, 96(4), 523-568.
- Seiple, W., Szlyk, J. P., McMahon, T., Pulido, J., & Fishman, G. A. (2005) Eye-movement training for reading in patients with age-related macular degeneration. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 46(8), 2886-2896.
- 瀬尾まいこ (2012) あと少し、もう少し. 新潮社.
- 柴田和久 (2019) 知覚学習の安定性と脳の興奮・抑制比率. 日本神経回路学会誌, 26(1-2), 3-9.
- 篠塚勝正・窪田三喜夫 (2012) 日本語文字形態 (漢字、ひらがな、カタカナ) による認知言語処理の差異. 成城文藝, 221, 84-98.
- 新村 出 (2018) 広辞苑第 7 版. 岩波書店.
- 菅 謙治 (2000) 眼疾患. 金芳堂.
- 高橋麻衣子 (2012) 読解能力の発達における読み聞かせの有用性. 読書科学, 54(3-4), 89-102.

- 高橋 登 (2001) 学童期における読解能力の発達過程-1-5年生の縦断的な分析-. 教育心理学研究, 49, 1-10.
- 高山みさき・大西英雄・城本 修・村中博幸 (2017) 平仮名および片仮名の文字刺激処理における脳賦活部位の検討. 音声言語医学, 58(2), 143-151.
- 竹田青嗣 (2009) 中学生からの哲学「超」入門. ちくまプリマー新書.
- Teramoto, W., Nakazaki, T., Sekiyama, K., & Mori, S. (2016) Effects of word width and word length on optimal character size for reading of horizontally scrolling Japanese words. *Frontiers in Psychology*, 7, Article 127.
- Treleaven, A. J. & Yu, D. (2020) Training peripheral vision to read: Reducing crowding through an adaptive training method. *Vision Research*, 171, 84-94.
- 上田 敏 (1983) リハビリテーションを考える. 青木書店.
- 氏間研究室 (2017) 日用視野測定ツール [iPad App]. version 2.0.1.
- van Bergen, E., Snoeling, M. J., de Zeeuw, E. L., van Beijsterveldt, C. E. M., Dolan, C. V., & Boomsma, D. I. (2018) Why do children read more? The influence of reading ability on voluntary reading practices. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 59(11), 1205-1214.
- van der Stigchel, S., Bethlehem, R. A., Klein, B. P., Berendschot, T. T., Nijboer, T. C., & Dumoulin, S. O. (2013) Macular degeneration affects eye movement behavior during visual search. *Frontiers in Psychology*, 4, Article 579.
- WHO (2018) ICD-11 for Mortality and Morbidity Statistics. WHO, November 23, 2023, <https://icd.who.int/dev11/l-m/en#/http%3a%2f%2fid.who.int%2fid%2fentity%2f1103667651>. (Retrieved November 26, 2023)
- 脇野信吾・角谷詩織 (2018) 中学生が科学的読み物に触れることの意義：理科や読書への意欲と思考力・将来展望との関連から. 上越教育大学研究紀要, 38(1), 55-64.
- Wang, H., He, X., & Legge, G. E. (2014) Effect of pattern complexity on the visual span for Chinese and alphabet characters. *Journal of Vision*, 14(8), Article 6.
- Warren, D. H. (1984) *Blindness and early childhood development*. American Foundation for the Blind, New York. 山本利和監訳 (1998) 視覚障害と発達. 二瓶社,
- 鷺田清一 (2015) なんのために「学ぶ」のか. ちくまプリマー新書.
- Whatham, A. R., Mermoud, C., Déruaz, A., Goldschmidt, M., Zesiger, P., & Safran, A. B. (2006) Computer-based measurement of letter and word acuity. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 26(2), 156-168.
- Xiong, Y. Z., Qiao, C., & Legge, G. E. (2019) Reading with letter transpositions in central and peripheral vision. *Journal of Vision*, 19(3), Article 17.
- Yamada, J. (1998) The time course of semantic and phonological access in naming kanji and kana words. *Reading and Writing*, 10(5), 425-437.
- 山崎郁未・伊藤理紗・濱野花莉・中村聡史・掛 晃幸・石丸 築 (2020) 記憶対象の文字の太さの違いが記憶容易性に及ぼす影響. 情報処理学会研究報告, 2020-HCI-190(22), 1-8.
- 横澤一彦 (2010) 視覚科学. 勁草書房.
- 好井裕明 (2017) 「今、ここ」から考える社会学. ちくまプリマー新書.
- Yu, D., Cheung, S. H., Legge, G. E., & Chung, S. T. (2010a) Reading speed in the peripheral visual field of older adults: Does it benefit from perceptual learning? *Vision Research*, 50(9), 860-869.
- Yu, D., Legge, G. E., Park, H., Gage, E., & Chung, S. T. (2010b) Development of a training protocol to improve reading performance in peripheral vision. *Vision Research*, 50(1), 36-45.
- Yu, D., Legge, G. E., Wagoner, G., & Chung, S. T. L. (2018) Training peripheral vision to read: Boosting the speed of letter processing. *Vision Research*, 152, 51-60.
- Yu, H., Shamsi, F., & Kwon, M. (2022) Altered eye movements during reading under degraded viewing conditions: Background luminance, text blur, and text contrast. *Journal of Vision*, 22(10), Article 4.
- 全国学校図書館協議会 (2023) 子どもの読書の現状-第 68 回学校読書調査報告-. 学校図書館, 877, 14-42.
- Zhang, J. Y., Zhang, G. L., Xiao, L. Q., Klein, S. A., Levi, D. M., & Yu, C. (2010) Rule-based learning explains visual perceptual learning and its specificity and transfer. *The Journal of Neuroscience*, 30(37), 12323-12328.
- Zhang, J.-Y., Zhang, T., Xue, F., Liu, L., & Yu, C. (2007) Legibility variations of Chinese

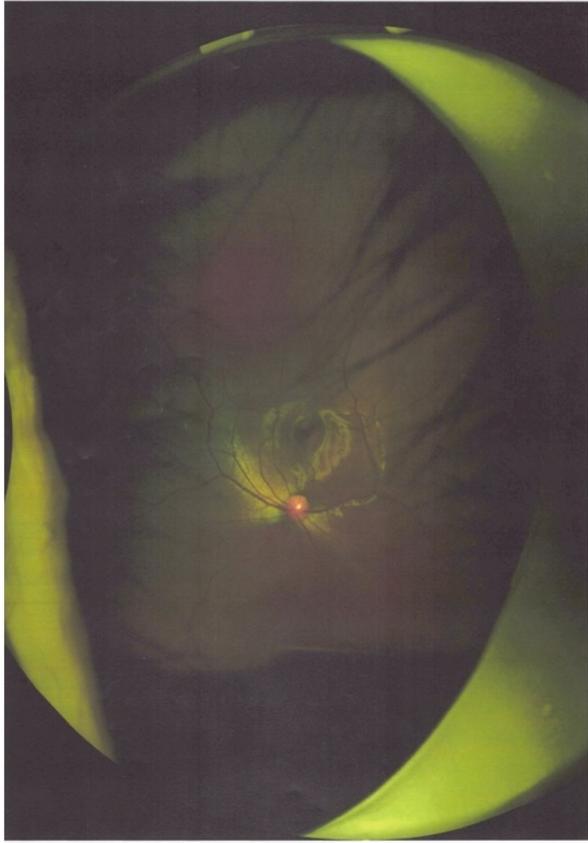
- characters and implications for visual acuity measurement in Chinese reading population. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 48(5), 2383–2390.
- Zhang, J.-Y., Zhang, T., Xue, F., Liu, L., & Yu, C. (2009) Legibility of Chinese characters in peripheral vision and the top-down influences on crowding. *Vision Research*, 49(1), 44–53.
- Zhou, Y., Huang, C., Xu, P., Tao, L., Qiu, Z., Li, X., & Lu, Z. L. (2006) Perceptual learning improves contrast sensitivity and visual acuity in adults with anisometric amblyopia. *Vision Research*, 46(5), 739–750.

卷末資料

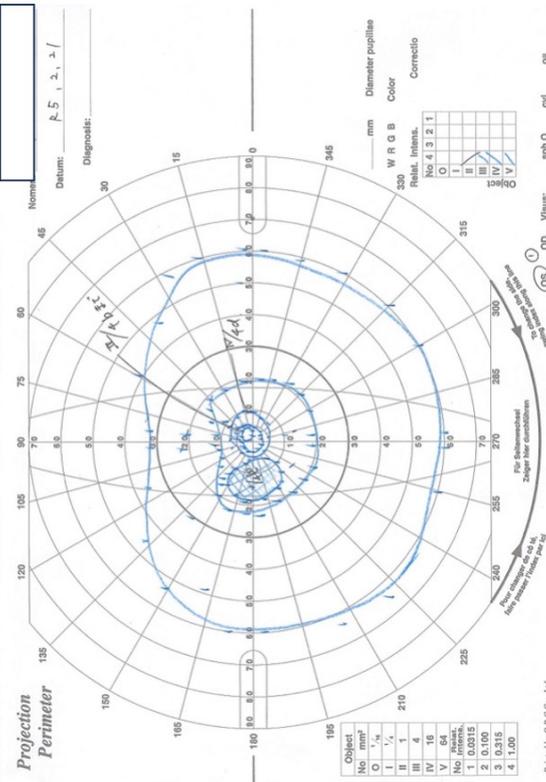
巻末資料

第5研究 (資料①)

眼底写真

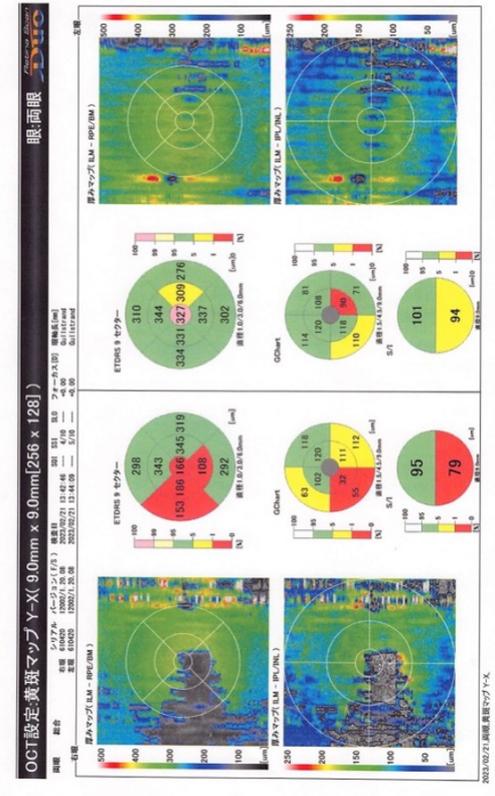


参加者A (左眼) ゴールドマン視野検査



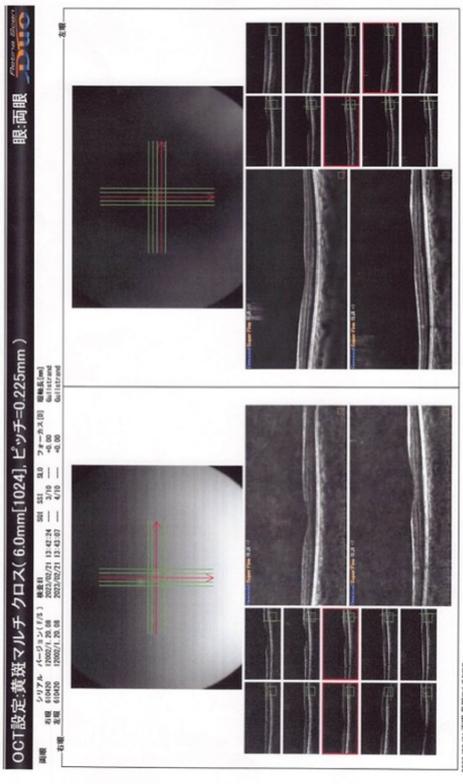
黄斑マップ

患者氏名: [] 性別: [] 年齢: [] 検査日: 2023/02/21



黄斑マルチ

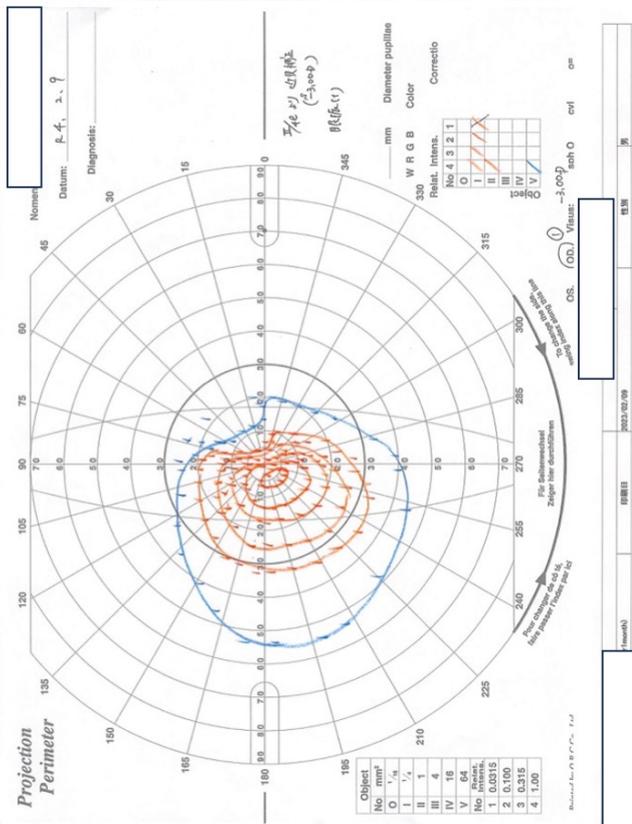
患者氏名: [] 性別: [] 年齢: [] 検査日: 2023/02/21



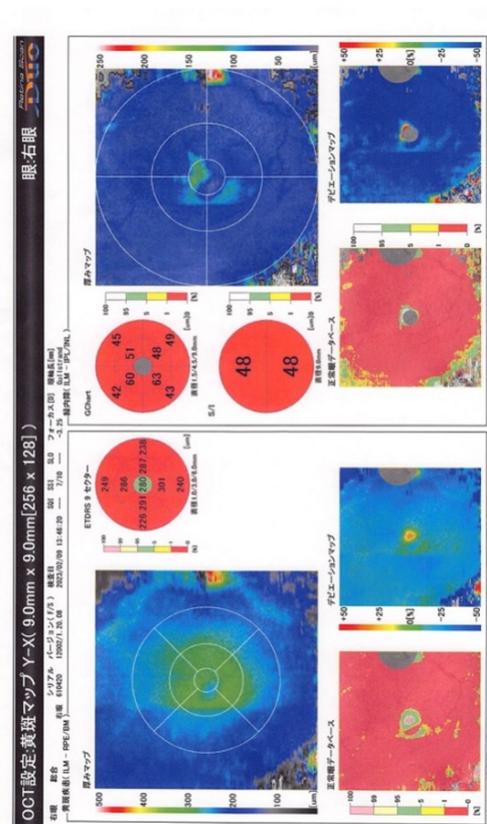
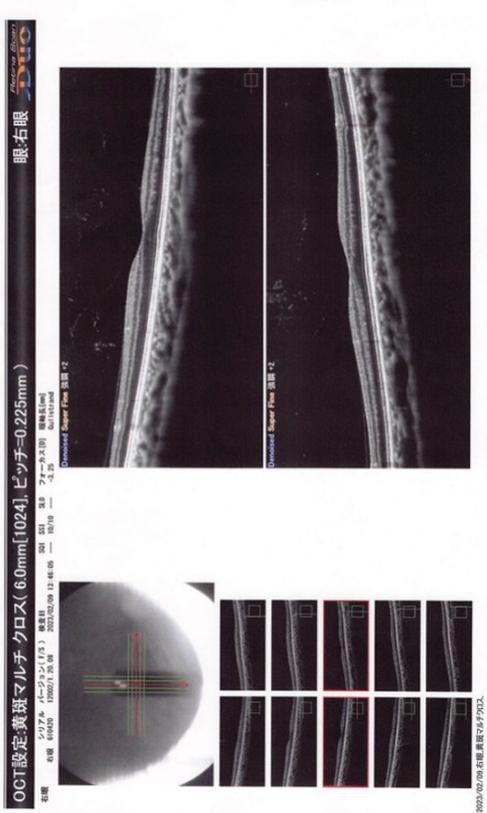
2023/02/21 札幌医科大学 FRCO

第 5 研究 (資料②)

参加者B (左眼)

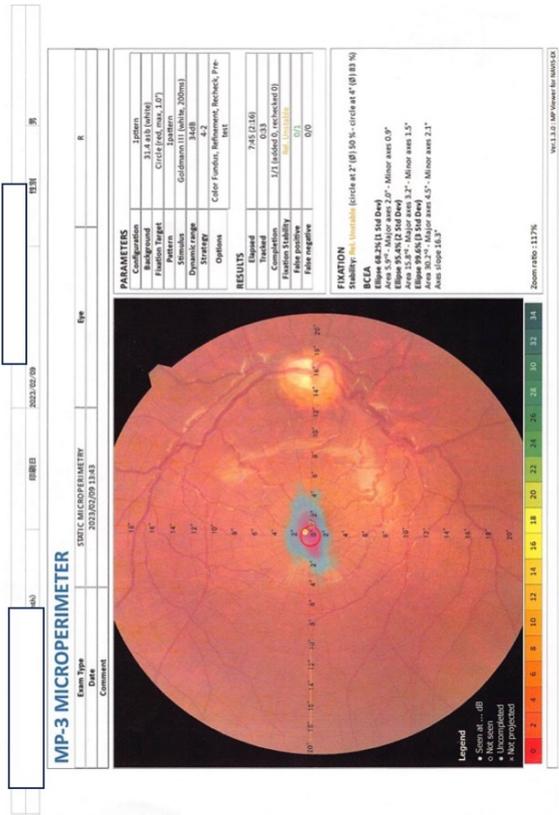


Form fields for patient information and test parameters. Fields include Name, Date, and various test parameters.

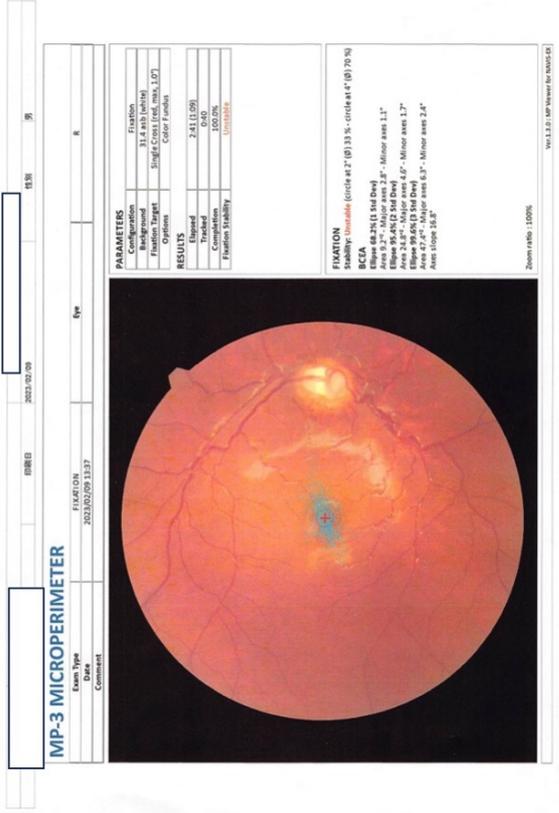


参加者B

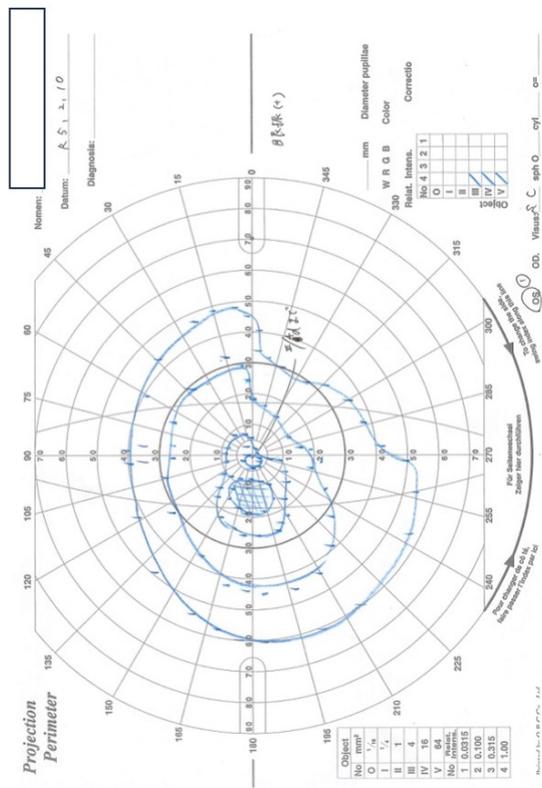
固視点感度



固視の安定性



参加者C (左眼)



参加者D

検査項目: 2023/02/18 15:30 室
 検査種別: 2023/02/18 15:30
 検査結果: 2023/02/18 15:30
 検査機: 2023/02/18 15:30

MP-3 MICROPERIMETER

Exam Type: Eye Eye R

Comment:

PARAMETERS	Configuration	Fixation
Background	31.4 (43.1)MHz	31.4 (43.1)MHz
Fluorescence	Color Filter	Color Filter
Pattern	Grid (10x10, 1.2°)	Grid (10x10, 1.2°)
Stimulus	Goldmann III (White, 200ms)	Goldmann III (White, 200ms)
Duration	1.2	1.2
Strabismus	0.2	0.2
Options	Color Filter, Reference, Retcheck, Pre-Test	Color Filter, Reference, Retcheck, Pre-Test

RESULTS	Elapsed	3.37 (0.41)
Treated	0.18	0.18
Unreliable	0.00	0.00
Fixation stability	1/1 (Unstable, not used)	1/1 (Unstable, not used)
Filter positive	0/0	0/0
Filter negative	0/0	0/0

FIXATION
 Fixation: 100% (stable) (circle at 2°) (0.43% circle at 4°) (0.79%)
BCVA
 Ellipse 68.2% (1.54 Duv) - Minor axis 1.2°
 Ellipse 35.4% (1.54 Duv) - Minor axis 2.0°
 Area 31.8% (Major axis 3.4° - Minor axis 2.0°)
 Area 43.3% (Major axis 4.7° - Minor axis 2.8°)
 Area slope 68.2°
 Area slope 68.2°

Zoom ratio: 117%

Ver: 1.1.0 MP (ver: 1.005) (c)

2023/02/18 15:30 (P010415)

検査項目: 2023/02/18 15:30 室
 検査種別: 2023/02/18 15:30
 検査結果: 2023/02/18 15:30
 検査機: 2023/02/18 15:30

MP-3 MICROPERIMETER

Exam Type: Eye Eye R

Comment:

PARAMETERS	Configuration	Fixation
Background	31.4 (43.1)MHz	31.4 (43.1)MHz
Fluorescence	Color Filter	Color Filter
Pattern	Grid (10x10, 1.2°)	Grid (10x10, 1.2°)
Stimulus	Goldmann III (White, 200ms)	Goldmann III (White, 200ms)
Duration	1.2	1.2
Strabismus	0.2	0.2
Options	Color Filter, Reference, Retcheck, Pre-Test	Color Filter, Reference, Retcheck, Pre-Test

RESULTS	Elapsed	7.55 (1.23)
Treated	0.00	0.00
Unreliable	0.00	0.00
Fixation stability	100.0%	100.0%

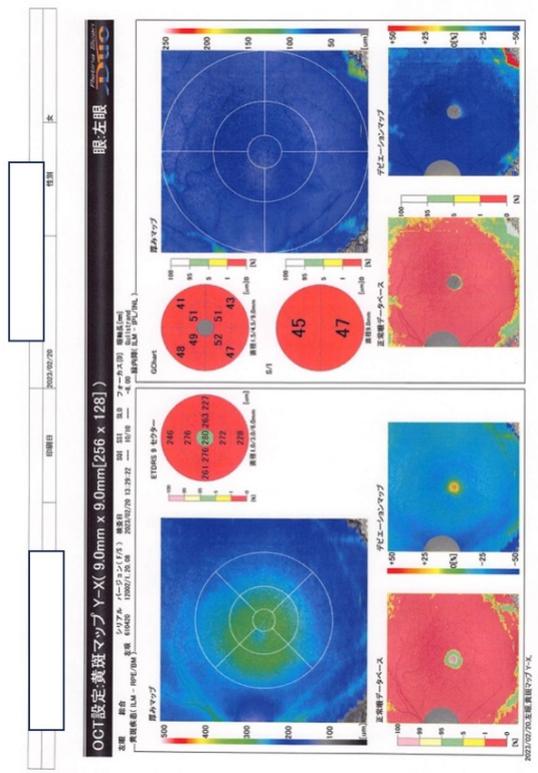
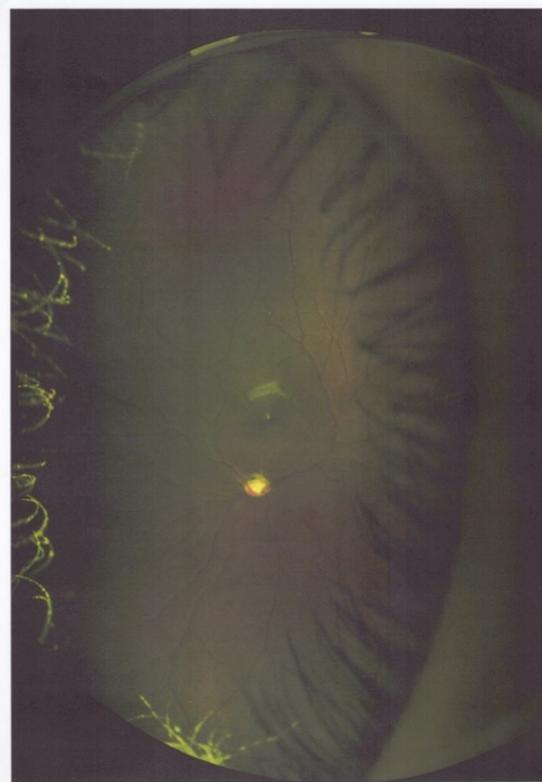
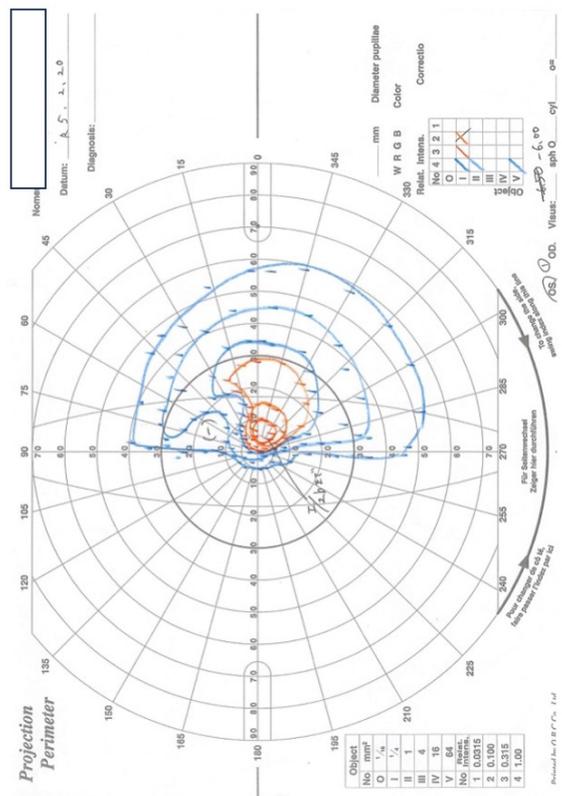
FIXATION
 Fixation: 100% (stable) (circle at 2°) (0.39% circle at 4°) (0.57%)
BCVA
 Ellipse 68.2% (1.54 Duv) - Minor axis 1.2°
 Ellipse 35.4% (1.54 Duv) - Minor axis 2.0°
 Area 31.8% (Major axis 3.4° - Minor axis 2.0°)
 Area 43.3% (Major axis 4.7° - Minor axis 2.8°)
 Area slope 68.2°
 Area slope 68.2°

Zoom ratio: 120%

Ver: 1.1.0 MP (ver: 1.005) (c)

2023/02/18 15:30 (P010415)

参加者 E (左眼)



参加者E

00000 2023/02/20 18:00 3K
MP-3 MICROPERIMETER
 Exam Type: 2023/02/20 13:28 Eye: L
 Comment:

Legend
 • Spot at -dB
 ○ Not seen
 ○ Not measured
 * Not projected

PARAMETERS	
Background	13.4 (43.5) (white)
Fixation Target	Cross (red, max, 1.0°)
Stimulation	Goldmann III (white, 200ms)
Diameter range	3.4dB
Intensity	Color Fundus, Redness, Redback, PFC-001
Options	
RESULTS	
Area	132 (2.54)
Tracker	0.7
Fixation	1/1 (100%) (0, 0.14) (0)
Completion	0.0
Fixation positive	0.0
Fixation negative	0.0

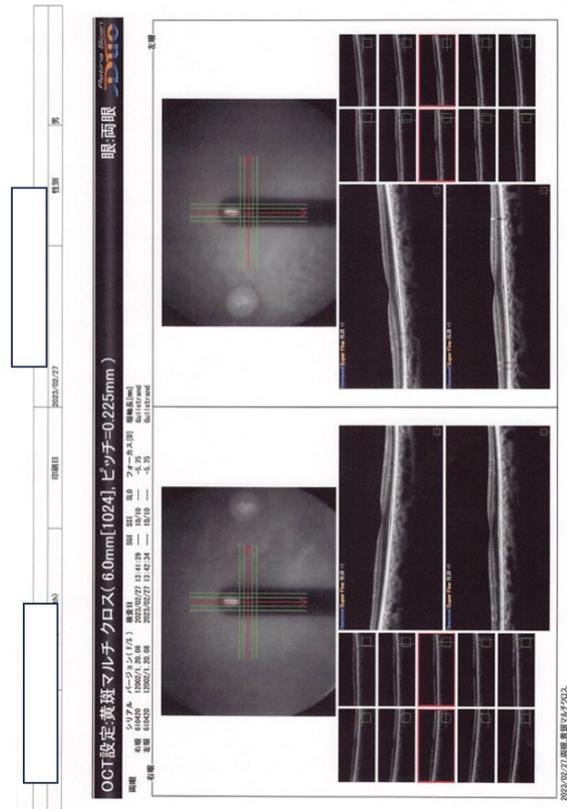
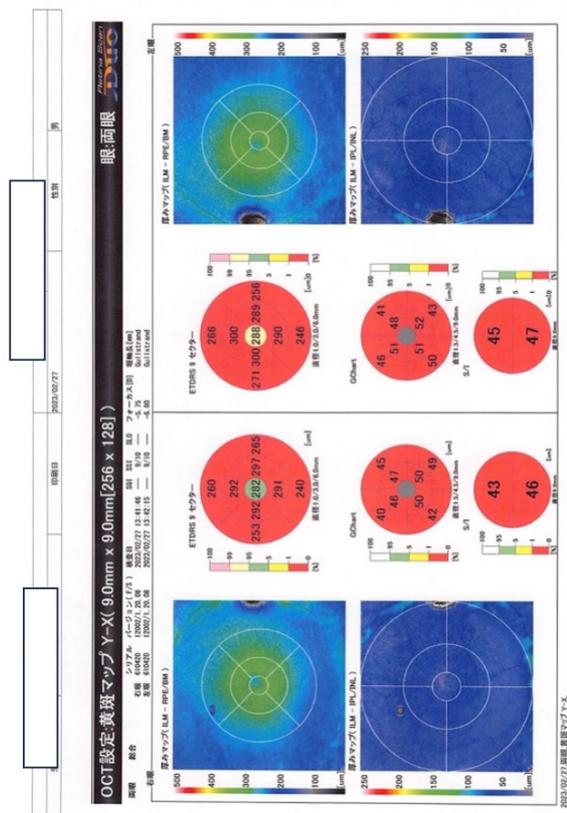
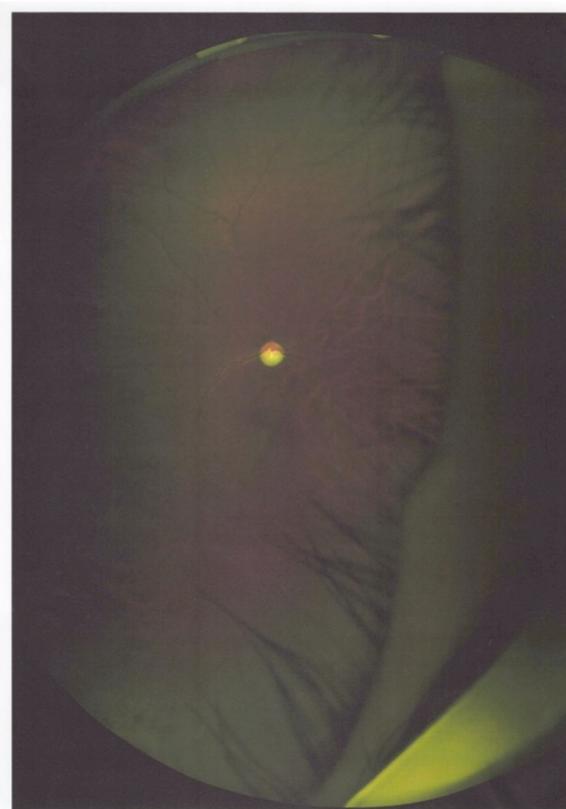
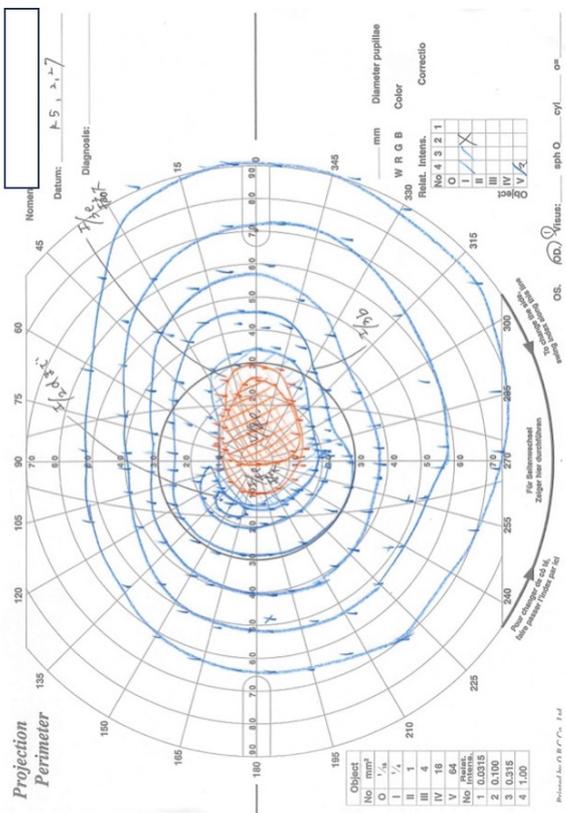
FIXATION Fixation (circle at 2° (0) 18 % - circle at 4° (0) (0) (0) %)
BCA
 Ellipse 64.2% (1.16) (0.4)
 Ellipse 95.4% (2.14) (0.4)
 Area 4.1° - Major axis 1.6° - Minor axis 0.3°
 Area 5.9° - Major axis 2.2° - Minor axis 1.1°
 Area 10.9° - Major axis 3.5° - Minor axis 2.2°
 Area Slope 2.2°
 Zoom ratio: 117%
 Ver 1.2.2 MP-3 (exam for MacUL)

00000 2023/02/20 18:00 3K
MP-3 MICROPERIMETER
 Exam Type: 2023/02/20 13:23 Eye: L
 Comment:

PARAMETERS	
Background	13.4 (43.5) (white)
Fixation Target	Single Cross (red, max, 1.0°)
Stimulation	Color Fundus
RESULTS	
Elapsed	2:27 (1:03)
Tracker	0.0
Fixation	1/1 (100%)
Fixation stability	100%

FIXATION Fixation (circle at 2° (0) 18 % - circle at 4° (0) (0) (0) %)
BCA
 Ellipse 64.2% (1.16) (0.4)
 Ellipse 95.4% (2.14) (0.4)
 Area 4.1° - Major axis 1.6° - Minor axis 0.3°
 Area 5.9° - Major axis 2.2° - Minor axis 1.1°
 Area 10.9° - Major axis 3.5° - Minor axis 2.2°
 Area Slope 2.2°
 Zoom ratio: 100%
 Ver 1.2.2 MP-3 (exam for MacUL)

参加者F (右眼)



謝辞

本論文は、広島大学大学院の5年間の集大成としてまとめました。本研究の完成において、多くの方々からご指導・ご支援いただきました。まず主査の氏間和仁教授からは、研究の構成から実験の方法や結果の処理にわたるきめ細かな指導をいただきました。先生はまだ未熟な私にいつも熱心に優しくご指導いただき、さらには必要な実験機器や環境を揃えてくださりました。先生のお言葉で「研究で誰が幸せになるのか」が特に心に残っています。なかなか方向性が定まらないこともありましたが、先生の的確なご指導で研究のストーリーを決めることができました。研究という世界、実験の興味深さを教えてくださった氏間先生に心から感謝を申し上げます。

論文審査にあたり、木内良明教授、川合紀宗教授、林田真志准教授、小松香織先生から多くのご示唆を賜りました。いつでも温かく話を聞いてくださり、まとまりのない私の研究に丁寧にご指導いただき感謝申し上げます。

学会では慶應義塾大学の中野泰志教授、宮城教育大学の永井伸幸教授からたくさんの助言をいただきました。修士1年の頃、氏間先生が指揮をとる研究プロジェクトで出会い、学会で会うたびに、近況を気にかけていただき研究のご示唆や激励をいただきました。また、実験を行うにあたり多くの方にご尽力いただきました。主に欧米で進められている研究を日本語で実施するにあたりビジュアル・スパンの求め方をご指導いただいたミネソタ大学の Prof. G. E. Legge、読みトレーニングのご指導をいただいたカリフォルニア大学の Prof. S. T. L. Chung、アルファベットの刺激を送ってくださった北京大学の Prof. C. Yu、国際学会 (Vision, 2023) のポスター発表で有益なご意見をいただいた香港理工大学の Prof. A. Cheong、オハイオ州立大学の Assoc. prof. D. Yu、ミネソタ大学の Post Doctoral Researcher. A. Freedman に厚くお礼申し上げます。また、読み速度の分析方法についてご指導いただいた東京女子大学の小田浩一教授、実験刺激について示唆をいただいた大阪医科薬科大学の奥村智人先生、ビジュアル・スパンの分析をご指導いただいた関西大学 福

井敬祐准教授、医療的助言をいただいた奈良井眼科の医師 奈良井章人先生、視能訓練士 上原知子様、臼井真紀様、論文執筆や国際学会発表の際に英語の校正をしていただいた研究室職員の辻 佑子様に感謝申し上げます。

民間研究室のゼミ生にも多くのご協力いただきました。実験ソフトのプログラムを書いてくださった諸星奏希さん、研究参加者を募集と実験補助をくださった北名美雨さん、実験刺激作成の手伝いをしてくれた重本理有さん、西本月那さん、川本 夢さんをはじめとする多くの研究室の皆様にご感謝申し上げます。そして同じ特別支援教育領域の博士課程に在籍する陳 玉欣さんがいてくれるおかげで、研究の楽しかったこと辛かったことを共有しあい、共に励みながら研究の実施、論文執筆を進めることができました。

実験には多くの参加者にご協力いただきました。第1～3研究では時間を工面して大学生・大学院生が研究に参加くださいました。第4・5研究では新型コロナウイルスによる混乱の中、移動制限により何度も予定を調整してくださった参加者の方、県外から広島大学にお越しいただいた参加者の方もおられます。研究に参加くださった全ての人に感謝申し上げます。

実験実施や学会参加にあたり広島大学、日本教育公務員弘済会、村田学術振興財団から援助をいただきました。感謝申し上げます。

最後に、いつも応援してくれ、献身的に支えてくれた家族に感謝をこめて。

2024年1月

今津麻衣