

学位論文要約

弱視者の視覚特性に最適なデジタル・リーディングの要件に関する研究

広島大学大学院教育学研究科

氏間和仁

2017

I. 研究の構成

序論

- 第1章 特別支援教育と視覚障害教育
 - 第1節 特別支援教育における視覚障害教育
 - 第2節 戦前の弱視教育
 - 第3節 戦後の弱視教育
- 第2章 視覚障害教育と教科書
 - 第1節 点字教科書
 - 第2節 弱視用教科書(拡大教科書)
- 第3章 弱視者と支援法
 - 第1節 視覚補助としての拡大法
 - 第2節 拡大法としての拡大教科書
 - 第3節 視覚補助としてのデジタル・テクノロジー
- 第4章 弱視者と読書
 - 第1節 弱視教育におけるデジタル・リーディングの可能性
 - 第2節 デジタル・リーディングの表示形式
- 第5章 弱視者の読書の条件整備に関する研究
 - 第1節 晴眼状態における読書の特性
 - 第2節 弱視状態における読書の特性
 - 第3節 弱視者の読書に適した文字サイズの評価の概要
 - 第4節 読書に適した文字サイズの算出法
 - 第5節 弱視者の視覚特性と読書環境構築
- 第6章 デジタル・リーディングの表示要件に関する研究
- 第7章 本研究の目的と構成
 - 第1節 本研究の目的
 - 第2節 本研究の方法と構成

本論

第1部 晴眼者と擬似弱視によるデジタル・リーディングの研究

-文字サイズと表示形式が読速度に及ぼす影響について-

第1章 文字サイズと表示形式が読速度に及ぼす影響

-狭い文字サイズ幅による検討-

(第1研究)

- 第1節 目的
- 第2節 方法
- 第3節 結果
- 第4節 考察

第2章 擬似視野狭窄における文字サイズと表示形式が読速度に及ぼす影響

(第2研究)

第1節 目的

第2節 方法

第3節 結果

第4節 考察

第3章 擬似低視力における文字サイズと表示形式が読速度に及ぼす影響

(第3研究)

第1節 目的

第2節 方法

第3節 結果

第4節 考察

第4章 第1部の総合考察

第2部 晴眼者と弱視者のデジタル・リーディングの表示形式と文字サイズが読速度に与える影響の比較

第1章 文字サイズと表示形式が読速度に及ぼす影響

-広い文字サイズ幅による検討-

(第4研究)

第1節 目的

第2節 方法

第3節 結果

第4節 考察

第2章 デジタル・リーディングの読速度に表示形式と文字サイズが及ぼす影響について

-晴眼者と弱視者の比較-

(第5研究)

第1節 目的

第2節 方法

第3節 結果

第4節 考察

第3章 第2部の総合考察

第3部 弱視者の視覚特性に適したデジタル・リーディングの環境設定法に関する研究

第1章 晴眼者における表示形式と文字サイズが読速度に及ぼす影響

(第6研究)

第1節 目的

第2節 方法

第3節 結果

第4節 考察

- 第2章 弱視者の視覚特性に応じた臨界文字サイズ及び最大文字サイズを利用した
最適環境推定法の研究 (第7研究)
- 第1節 目的
- 第2節 方法
- 第3節 結果
- 第4節 考察
- 第3章 第3部の総合考察

第4部 総合考察と今後の課題

- 第1章 総合考察
 - 第1節 弱視者におけるデジタル・リーディング表示環境の推定法
 - 第2節 デジタル教科書における導入について
- 第2章 今後の課題

引用文献

II. 論文の概要

1. 序論 本研究の目的・意義・方法

(1) 研究の背景と目的

本研究で「弱視」とは、治療や屈折矯正を施してもなお見えにくさが永続的に見られ、読み・書き・歩行など何らかの活動に支障のある状態、つまり医療で用いられるロービジョン(low vision) (小田, 2000)を指す。弱視児童生徒が拡大教科書を手にするのは、点字教科書から遅れること約20年、1952(昭和27)年ごろの手書きの拡大教科書である。その後、2008(平成20年)に「障害のある児童及び生徒のための教科用特定図書等の普及の促進等に関する法律」が施行され、小中学校段階の弱視者に拡大教科書が無償で給与されるようになった。2016(平成28)年度の拡大教科書の発行点数は、中学校で99.2%の発行率であり、現在、拡大教科書の発行率が100%を維持しているのは小学校の教科書に限られる(文部科学省 [2017] 147)。

拡大教科書を使用している弱視者を対象とした調査から、拡大教科書使用上の問題点として、(1) 可搬性、(2) 操作性が挙げられた(中野, 2014)。中野(2011)の調査では、通常学級(n = 3470)、弱視特別支援学級在籍者(n = 685)の2割強が「先生の指示するページがわかりにくい」とし、最多であった。この結果は、拡大教科書の多くは、文字の拡大に伴い、用紙を大きくすることなく、原本教科書1ページ分を2・3ページにレイアウトし直す点が原因として挙げられている(中野, 2011)。

原本教科書のレイアウトを保ち、拡大したい時に拡大して読書できることを実現する方法として、コンピュータ上で表示した読材料を読む、デジタル・リーディングがある。デジタル・リーディングの表示形式として、レイアウトを固定した、固定形式(Fixed Form)、画面幅で行を次行へ移す、行移形式(Reflow Form)、視運動性眼振(Optokinetic Nystagmus)で読書できる、一行形式(Line form)、眼球運動をほとんど伴わない、切片形式(Sectional Form)の4つが提案されている。弱視者を対象とした研究で、固定形式と行移形式の研究は、中野・氏間・田中・韓・永井(2016)や、氏間・村田(2000)の一連の研究で効果が示されている。一行形式の研究は Fine E. M. & Peli E. (1995), Beckman and Legge(1996), Walker(2013)などの研究で取り上げられている。Gilbert (1959)は、自動的に一定の場所で文字列を表示する RSVP(Rapid Serial Visual Presentation)を提案し、さらに Aries (1999)は、読者のボタン操作で次の文字列が表示される方法を提案し、Elicited Sequential Presentation(ESP)とした。どちらも、弱視者を対象とした実験より、紙での読書よりも読速度が速くなることを報告している。本研究では英語ほど文節が明確でない日本語から切り出すことや、眼球運動の統制をねらいとして、固定長での文字列の切り出しを行って表示する、ESPの変法として、切片形式(Sectional Form)を採用している。

これらの形式を表示する際、どの程度の文字サイズで提示すると効果的なのかといった課題を解決することが、弱視者の視覚特性に応じたデジタル・リーディングの環境を整備する上で重要となる。なぜなら、弱視者が読書する場合、拡大とコントラスト増強が支援の中心となるためである(小田, 2001)。氏間(2010)は弱視者の読書の環境整備に関する研究をレビューした。それによると、現在の弱視者の視覚特性に応じた読書に適した文字サイズの評価法は、実際に読書を課して行われるのが一般的である。Sloan and Brown (1963)は、世界で初めて実際に読書を課して、文字

サイズを徐々に縮小して読書させ、無理なく読書できる最小の文字サイズを評価した。Legge, Pelli, Rubin, and Schelske (1985a)の晴眼者対象の研究では、文字サイズを $3.6' \sim 24'$ ($400:1$)に設定して、読速度を測定した。読速度は文字サイズが視角 $0.3^\circ \sim 2^\circ$ のとき頂点に達し、その平均値を最大読書速度 (Maximum Reading Rates) とした (Fig. 0-1)。

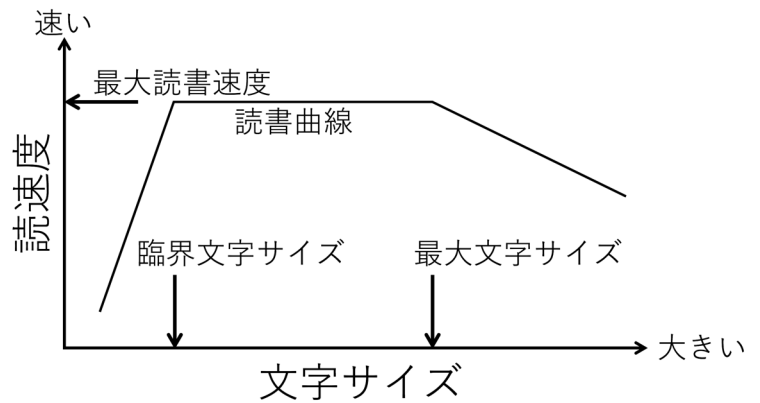


Fig. 0-1 文字サイズと読速度の関係

1)。視角 (Visual Angle) とは眼から視対象の上下に張る2直線がなす角度で、「視角 ($^\circ$) = \tan^{-1} (視対象の高さ/視距離)」で定義される。その後、弱視者対象の実験を実施し、最大読書速度は個別的であり、変化の 64% は中心窩及び透光体の状態で説明できるとした (Legg, Rubin, Pelli, & Schelske, 1985b)。次いで、弱視者の視覚特性に応じた文字サイズ推定法として MNREAD 検査が考案され、Test - Retest 法を用いて信頼性が確認された (Legge, Ross, Luebker, & Lamay, 1989)。

整理すると、文字サイズを様々に設定して読書したとき、読速度が安定している文字サイズ幅(プラト一期)が存在し、そのプラト一期の読速度の平均を最大読書速度、プラト一期の最小の文字サイズを臨界文字サイズ (Critical Print Size: CPS) と定義した (Fig. 0-1)。読速度を文字サイズの関数で表したグラフ (Fig. 0-1) は読書曲線 (Reading Curve) と表現される (Legge, Parish, Luebker, & Wurm, 1990)。これらの変数を算出する手続きは、Mansfield, Legge, and Bane (1996) が提案し、その誤記を氏間・島田・小田 (2007) が修正した方法が世界的に採用されている。Mansfield et al. (1996) の推定法では、最大読書速度を保って読書できる最大の文字サイズ、つまりプラト一期の最大サイズを最大文字サイズ (Maximum Print Size : MPS) としている。

弱視者は、読書することに最も困難を感じている (西脇・田中・小田・岡田・樋田・藤原, 2001)。また、弱視者は見え方が千差万別であり、紙をベースにした読書において、それぞれの視覚特性に応じた読書環境を設定することには限界がある。しかし、先行研究で見られる通り (佐藤・中野, 1993; 氏間・村田, 2000; 氏間, 2001; Walker, 2013 など)、デジタル・リーディングでは、その限界を超えることが期待できる。これまで、デジタル・リーディングで可能な表示形式としては、固定形式 (Aries, 1999; Harland et al., 1998 など)、行移形式 (氏間, 2000)、一行形式 (Beckman & Legge, 1996; Walker, 2013)、切片形式およびその類似形式 (Rubin & Turano, 1992; Rubin & Turano, 1994; Fine & Peli, 1995 など) の4種類が研究されてきた。本研究では、デジタル教科書の普及や、合理的配慮やテスト・アコモデーション (Test Accommodation) としての ICT 活用など、本格的なデジタル・リーディングの導入を見据えて、これら4つの表示形式を対象に、弱視者のそれぞれの視覚特性に応じた表示形式と文字サイズの関係性を明らかにし、視覚特性に応じた表示形式と文字サイズを推定できる手続きを提案することを目的とする。それにより、弱視者が教科書や小説、様々な読素材をデジタル・リーディングで快適に読書できる世の中の実現を目指すものである。

第1部では、晴眼参加者により、表示形式と文字サイズが読速度に及ぼす影響及び、晴眼者による擬似視野狭窄、擬似低視力下で、擬似体験の有無の条件で比較するため、文字サイズをの幅を小さめに設定して、表示形式と文字サイズが読速度に及ぼす影響を明らかにし、当事者実験の必要性を検討することを目的とする。第2部では、晴眼参加者を対象に文字サイズの幅を読書曲線を描ける程度まで拡大して、表示形式と文字サイズが読速度に及ぼす影響を調査する。そのデータを晴眼者の一般的傾向と位置付け、弱視参加者を対象に、表示形式と文字サイズが読書速度に及ぼす影響を晴眼者と比較し、晴眼者の一般的傾向を援用できるのか、あるいは個々の弱視者で読書環境を検討することが必要なのかについて検討することを目的とする。第3部では、晴眼参加者を対象に、デジタル・リーディングにおける読書曲線を描き、Mansfield et al. (1996)の推定法を適用し、最大文字サイズの推定可能性を検討する。それに基づき、弱視参加者を対象に最大文字サイズの推定の妥当性を Legge et al. (1989)が採用した、test - retest 法を用いて検討することを目的とする。

(2)本研究の方法と構成

第1部では、文字サイズを 0.7° ~ 2.6° ($0.2\log\text{UNIT}$) で設定した文字サイズ幅を用いた文字サイズ要因(4水準)、表示形式要因(4水準)の参加者内2要因の要因計画法で実験を行った。従属変数は読速度(一分間あたりの文字数)であり、「読速度 = (文字数 - エラー文字数) / 読み時間(秒) × 60」で求め、単位は「文字 / 分(characters per minute: CPM)であった。第1研究は晴眼者(20名程度)において、表示形式及び文字サイズの読書環境が読速度に及ぼす効果、第2研究は擬似視野狭窄状態において、読書環境が読速度に及ぼす効果、第3研究は、擬似低視力状態において読書環境が読速度に及ぼす効果を確認した。晴眼者とシミュレーションの間で相違点を確認できたため、第2部・第3部の当事者実験に進んだ。

読刺激は中野・菊地・中野・石川(1993)が用いた有意味文シャッフル法で作成された500文字前後の文章であった。刺激提示装置として利用したiPad(Apple社製)と眼の距離は30cmに保たれ、実験参加者の額は台で固定された。刺激提示装置の画面中央の5秒のカウントダウン後に文章が表示され、カウントダウン中は刺激文の1文字目にあたる部分に文字サイズと同サイズの1つの四角が点滅し、実験参加者に読み始めの位置と提示される文字サイズを示した。実験参加者は、カウントダウン中は点滅する四角を固視し、文章が表示されるとできるだけ速く、正確に音読するよう教示された。これらの操作や読み方については練習を行った。読書後、実験参加者が握ったボタンを押すと文章は画面から消えた。読速度は、刺激文が提示された時点でタイマーがスタートし、実験参加者により押されたボタンをトリガーとしてタイマーが止まる仕様である。この時間を読書時間とし、読速度が求められた。刺激文の提示に用いたiPad air 2と自作のソフトウェア「expread」が計時機能を務めた。

固定形式は1行40文字であり、文字サイズ 0.7° で1行が提示装置の画面幅に収まり、 1.1° 以上では横スクロールを要した。文字サイズ 1.1° では画面幅の1.6倍、 1.7° では2.5倍、 2.6° では4倍であった。実験参加者は 1.1° 以上では縦と横のスクロールを行って読書する。行移形式は画面幅で行が折り返し、実験参加者は縦スクロールのみで読書できた。一行形式は画面の上下中央に横一直線に刺激文が提示され実験参加者が画面上を横スクロールして読書した。切片形式は5

文字ずつ画面の上下中央に左寄せで表示され、画面をタップすると次の5文字が同じ位置に表示された。OSAKA & ODA (1991) は、日本語は5文字から 10 文字程度の提示で読速度が高止まりすることを明らかにした。5 文字の提示は速度を維持して読書するのに要する一度に提示する最低の文字数を満たしていると考えられる。

実験参加者は、予備調査と本実験を実施された。予備調査では、インフォームドコンセント、視力、日用視野が測定された。本実験は各研究の条件で実施された。1 名が1つの条件を4試行実施された。統計処理は、4回の平均値が利用された。

第2研究では、第1研究と同様の手続きで、晴眼者(14 名)に視野狭窄ゴーグルを装用し、擬似視野狭窄状態をつくり、実験を実施した。第2研究では、シミュレーションの効果を検討するために、各参加者で4回繰り返しているため、下式により読速度比を算出して、検討した。

$$\text{読速度比} = \frac{\sum_{i=1}^4 (RS_{sim i} / RS_{non i})}{4}$$

式中、 RS_{sim} はシミュレーションありの読速度、 RS_{non} はシミュレーションなしの読速度をしめす。

第3研究では、第1研究と同様の手続きで、晴眼者(16 名)にオクルーダーを用いた白濁による擬似低視力状態をつくり、実験を実施した。1 名あたり「シミュレーションあり」と「なし」とで4回繰り返した。低視力の影響を読速度比を用いて確認した。

第2部は、第1部の実験装置を用いて、文字サイズの幅を、視角 $0.4^{\circ} \sim 6.6^{\circ}$ ($0.2 \log\text{UNIT}$, 7 段階)に拡大し、晴眼者(20 名程度)の読速度に及ぼす表示形式と文字サイズの効果を明らかにする(第4研究)。 6.6° は画面幅に4文字収まるため、切片形式でも横スクロールを必要とし読速度の低下が観察できると考えた。つまり全ての表示条件で文字拡大による読書低下を確認できると考えた。第5研究では、弱視者(5 名程度)を対象に、第4研究の結果と比較し、弱視当事者対象の文字サイズ推定法の必要性を検討した。弱視参加者に一定の傾向が見られるのか、個別的な環境推定が必要であるのかについて検討した(第5研究)。

第3部では、文字サイズの推定法は、Mansfield, et al. (1996) 及び氏間ら(2007)の臨界文字サイズと最大文字サイズの推定法アルゴリズムを利用した。4つの表示形式の読書においても、同アルゴリズムでプラト一期、中でも最大文字サイズの推定の可能性を明らかにするために、晴眼者(20 名程度)を対象に、最大文字サイズを算出し、実現可能性を検討した(第6研究)。最後に、弱視当事者(10 名程度)を対象に最大文字サイズを推定し、test - retest 法により信頼性を確認する予定である。デジタル・リーディングの長所は表示媒体の大きさを気にすることなく、拡大できる点である。しかし、拡大しすぎると読速度の低下が生じる、そこで、あらかじめ最大文字サイズを推定し、提案できれば、読書環境の設定に大きく貢献できると考えている。

第4部では、総合考察として、弱視者におけるデジタル・リーディング表示環境の推定法の妥当性について7つの研究を総合的に考察した。さらに、本研究で行なったデジタル・リーディングの一連の研究がデジタル教科書の導入にどのような影響が見込めるのか、海外や今後の本邦でのデジタル教科書の導入と合わせて検討した。最後に、本研究での限界と残された課題について検討した。

第1部から第3部の実験参加者の母語は日本語であった。分析には、R version 3.2.4 (2016-03

-10)を利用した。

第1部 晴眼者と擬似弱視によるデジタル・リーディングの研究

—文字サイズと表示形式が読速度に及ぼす影響について—

第1章 文字サイズと表示形式が読速度に及ぼす影響

-狭い文字サイズ幅による検討-(第1研究)

第1節 目的

デジタル・リーディングについて、読書環境(4つの表示形式と4段階の文字サイズ)が読速度に及ぼす影響を、晴眼実験参加者を対象に実験的に明らかにし、表示形式と文字サイズが読速度に与える効果について、その基礎的な知見を得ることを目的とする。

第2節 方法

1 研究デザイン

固定形式、行移形式、一行形式、切片形式の4つの表示形式と、文字サイズの2要因の実験参加者内の要因計画法であった。従属変数は読速度であった。

2 実験期間と実験参加者

実験期間は、2015年9月から11月であった。実験参加者はインフォームド・コンセントを受け書面で同意の意思を示した晴眼大学生21名(女17名, 男4名, 18~22歳, Mean = 20.3歳, SD = 1.5歳)であった。

3 実験手続き

本実験は、(1)の基礎調査の練習後実施された。4種類のうちの1種類の文字サイズにおいて、表示形式4種類をランダムな順番に配置し、読速度を測定した。

4 刺激と機材

実験刺激は、各実験参加者で、表示形式と文章の組み合わせをランダムに設定し、一人の実験参加者においては表示形式と文章の組み合わせは一貫していた。

文字サイズは、 0.7° を起点に $0.2\log\text{UNIT}$ で拡大され、 1.1° 、 1.7° 、 2.6° で設定された。

5 分析方法

表示形式要因と文字サイズ要因の2要因の実験参加者内の分散分析を行った。

第3節 結果

各要因の効果を明らかにするために、各要因の主効果について検討した。結果のグラフを Fig. 1-1 に示した。表示形式の主効果は有意であり($F(3, 60) = 33.8, p = 0.000, \eta^2 = 0.183$)、文字サイズの主効果は有意ではなかった($F(3, 60) = 2.0, p = 0.124, \eta^2 = 0.012$)。Holm法を用いた多重比較の結果、行移形式・一行形式 > 固定形式、固定形式・行移形式・一行形式 > 切片形式であった。

表示形式と文字サイズの2要因の実験参加者内分散分析の結果、交互作用は有意であった($F(9, 180) = 15.3, p = 0.000, \eta^2 = 0.049$)。各表示形式における文字サイズ要因の単純主効果は、固定形式条件における文字サイズ要因の単純主効果が有意であった。固定形式において、Holm法により多重比較を行った結果、 $0.7^\circ > 1.7^\circ$ 、 $0.7^\circ > 2.6^\circ$ 、 $1.1^\circ > 2.6^\circ$ 、 $1.7^\circ > 2.6^\circ$ であった($MSe = 993.0, p < 0.05$)。

第4節 考察

表示形式の主効果の結果は、行移形式、一行形式よりも固定形式が遅く、切片形式は4つの表示形式の中で最も遅かった。固定形式は、文字サイズの拡大に伴い読速度が低下したのに対し、切片形式は文字サイズとは独立で一貫して読速度が低値で安定していたことが原因であると考えられる。Aries (1999)が観察した、高速読者と低速読者のどちらにおいても一貫して ESP において読速度が遅いという結果が、本実験で設定した切片形式においても観察された結果であると考えられる。固定形式においてのみ観察された文字サイズの単純主効果は、文字サイズ 1.1° では行長が画面幅の 1.6 倍、1.7° では 2.5 倍、2.6° では 4 倍であったことが原因であると考えられる。Beckmann & Legge (1996)は、文字の拡大により1画面に表示される文字数の減少は読速度と相関していることを明らかにしていることから、文字の拡大に伴って画面に表示される文字数が減り、横スクロール量が増える固定形式において、文字サイズの拡大に伴って、他の表示形式よりも読速度が遅くなるという結果は妥当である。固定形式における文字サイズの多重比較の結果、2.6° 条件は、0.7°、1.1°、1.7° よりも読速度が遅かったことから、画面に一度に表示される文字数と読速度の相関は示唆される。

文字サイズ 0.7°、1.1°、1.7°、2.6° の条件で、4つの表示形式で読速度を測定した結果から、

- ・ この文字サイズの範囲において、行移形式・一行形式及び切片形式は文字サイズとは独立で、行移形式及び一行形式の読速度は速い水準で安定し、切片形式は遅い水準で安定する。
- ・ 文字サイズが 0.7° (画面幅に1行が収まる程度)では固定形式・行移形式・一行形式の読速度よりも、切片形式の読速度が有意に遅いが、文字の拡大に伴って1行の長さが画面幅の 1.6 倍から 2.5 倍の間で固定形式の読速度の低下が始まり、文字サイズの拡大に伴い読速度が低下する。

といった結論を得ることができた。

第2章 擬似視野狭窄における文字サイズと表示形式が読速度に及ぼす影響(第2研究)

第1節 目的

第2研究では、表示形式と文字サイズが読速度に及ぼす影響を晴眼状態と擬似視野狭窄条件で比較し、視野狭窄の効果を明らかにすることを目的とする。

第2節 方法

1 研究デザイン

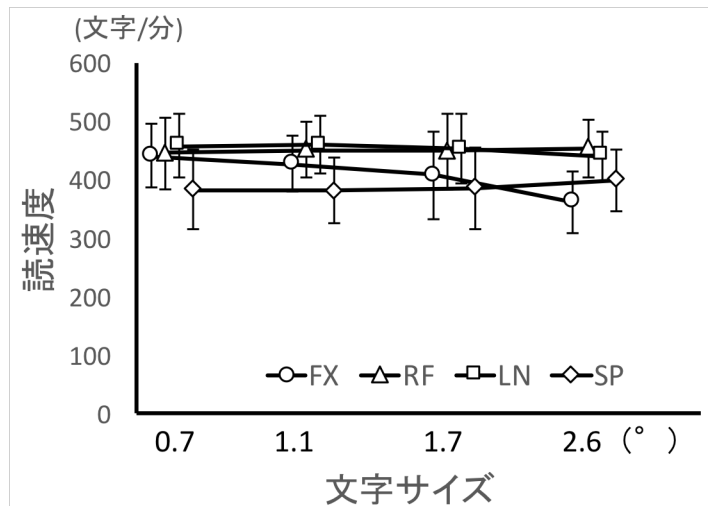


Fig. 1-1 読速度の結果

○FX は固定形式、△RF は行移形式、
□LN は一行形式、◇ SP は切片表示を表す。

第1研究と同様の2要因の繰り返しのある要因計画法であった。実験条件は研究1と同様であり、被験者要因として、視野狭窄シミュレーションの有無が加わった。従属変数は読速度とした。

2 実験期間と実験参加者

実験期間は、2015年9月から11月であった。実験参加者はインフォームド・コンセントを受け、書面で同意の意思を示した晴眼大学生14名であった。

3 実験手続き

本研究は、視野狭窄シミュレーションありとシミュレーションなし(晴眼状態)の2通りの条件で研究1の手続きに従って実施された。実験参加者は、晴眼状態(狭窄なし)と視野狭窄シミュレーション状態(狭窄あり)で、実験日を変えて、一週間以上のインターバルをおいて実験に参加した。狭窄シミュレーションの有無の順序はランダム化された。

4 刺激と機材

視野狭窄シミュレーションは、視野狭窄シミュレーションゴーグル(はんだ屋製)を用い、優位眼にシミュレーションを行い、反対側は完全遮蔽された。今回の実験では視野 5° (直径 10°)のシミュレーションを行い、シミュレーションの状態は日用視野で確認された。

5 分析方法

「狭窄なし」と「狭窄あり」のそれぞれにおいて、表示形式要因と文字サイズ要因の2要因実験参加者内分散分析を行ったのち、本研究の主目的であるシミュレーションの影響を明らかにするために、読速度比に基づき群分けし、検討した。

第3節 結果

狭窄の影響を明らかにするために、14名分の読速度比を、平均値 $\pm 1SD$ 内の「不変群」と、平均値 $-1SD$ より小さい「狭窄なし優位群」、平均値 $+1SD$ より大きい「狭窄あり優位群」の3グループに分けて分析した。結果をFig. 1-2に示した。

各表示形式(4条件)及び文字サイズ(4条件)の16条件別に 1×3 の χ^2 検定を行った。固定形式では 1.1° ($\chi^2(2) = 10.858, p < .01$), 1.7° ($\chi^2(2) = 6.143, p < .05$), 2.6° ($\chi^2(2) = 13.001, p < .05$)で有意な度数の偏りがみられた。ライアンの名義水準を用いた多重比較の結果、文字サイズ 1.1° と 2.6° では、狭窄なし優位群 $>$ 狭窄あり優位群となり($\alpha = .05$), 1.7° では有意ではなかった。行移形式では 2.6° ($\chi^2(2) = 10.858, p < .05$)で有意な偏りがみられた。ライアンの名義水準を用いた多重比較の結果、狭窄なし優位群 $>$ 狭窄あり優位群であった($\alpha = .05$)。

第4節 考察

読速度比の χ^2 検定の結果は、固定形式では 1.1° 以上で「狭窄なし優位」となったことは、固定形式は、文字拡大により生じる横スクロール、バックスクロール操作と、その際の追視といった負荷が、狭窄あり条件で読速度により大きく抑制的に影響したものと考えられる。その次に視野狭窄の影響が大きかったのは行移形式で、行移形式も、横スクロールを伴わないものの、画面一杯の眼球運動及び視線の改行運動(return sweep)は、一行形式や切片形式には見られない負荷であり、それが狭窄あり条件で読速度に対して、より大きく抑制的に影響したものと考えられる。文字の拡大に伴い眼球運動の負荷が高まることや(Legge et al., 1985a), また、文字の拡大と視野内に入る

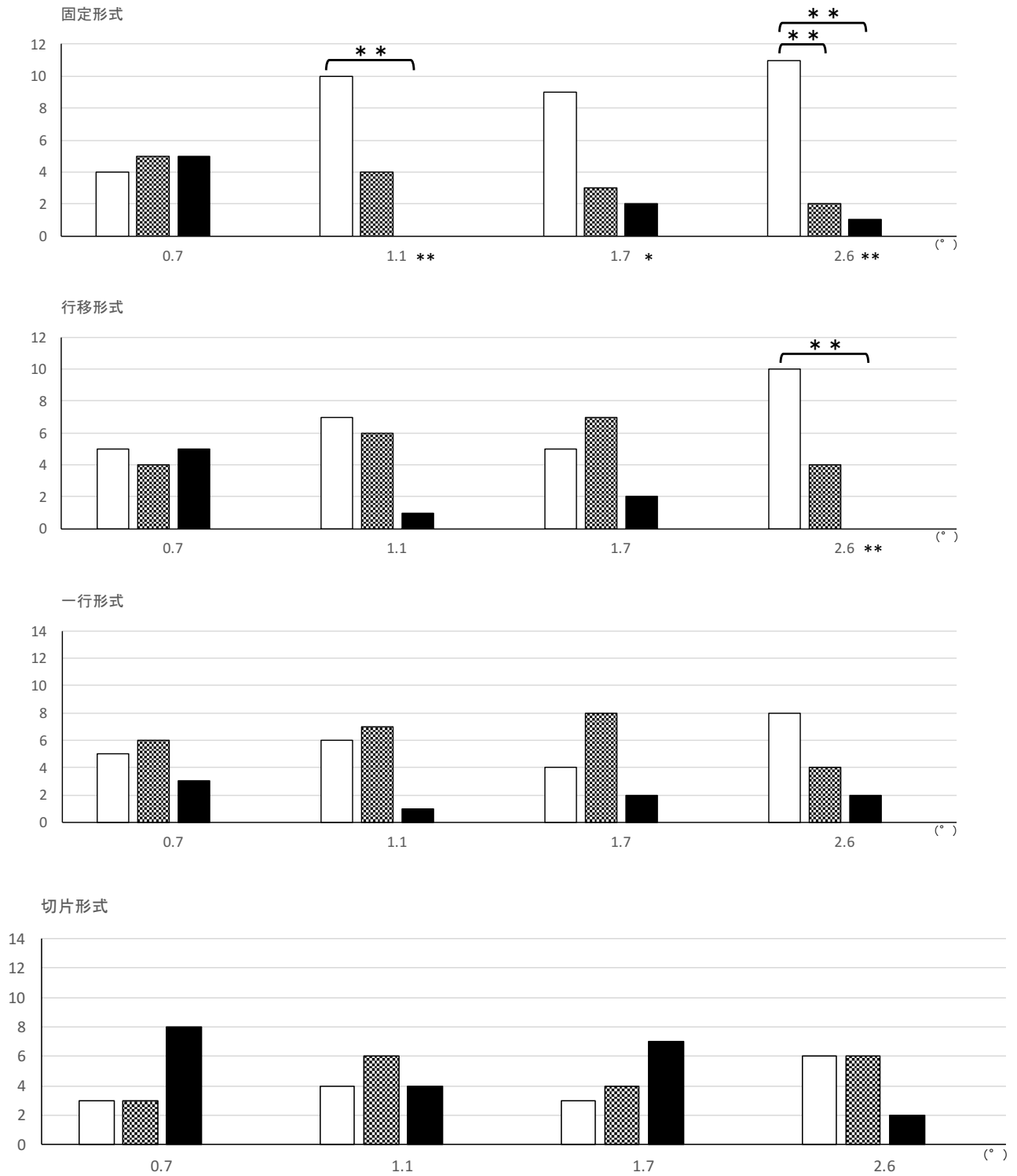


Fig. 1-2 「読速度比」の結果(N=14)

* $p < .05$, ** $p < .01$

真ん中の編み目のグラフは平均±1SD, 白のグラフは平均-1SD 未満(狭窄あり<なし), 黒のグラフは平均+1SD より大きい値(狭窄あり>なし)を示している。

文字数の減少により読速度が低下することも実験的に確認されている(石川・中野, 1993)。

本実験条件において以下のことが明らかとなった。なお, 文字サイズは本実験で設けられた4つの条件における解釈である点と, 視野狭窄が半径 5° の設定である点に注意する必要がある。

- ・ 読速度比より、文字拡大に伴って、読速度に抑制的に効果を示すのは、固定形式では 1.1° からである。
- ・ 読速度比より、文字拡大に伴って、読速度に抑制的に効果を示すのは、行移形式では 2.6° からである。

第3章 擬似低視力における文字サイズと表示形式が読速度に及ぼす影響

(第3研究)

第1節 目的

第1研究の要因計画法により、晴眼状態と擬似低視力条件で比較し、低視力の効果を明らかにすることを目的とする。

第2節 方法

1 研究デザイン

第1研究と同様の2要因の繰り返しのある要因計画法であった。実験条件は研究1と同様であり、被験者要因として、低視力シミュレーションの有無が加わった。従属変数は読速度とした。

2 実験期間と実験参加者

実験期間は、2015年9月から11月であった。実験参加者はインフォームド・コンセントを受け書面で同意の意思を示した晴眼大学生16名であった。実験参加者は、晴眼状態と低視力シミュレーション状態で日を変えて実験に参加した。条件の順序はランダム化された。

3 実験手続き

低視力シミュレーション時は、臨界文字サイズを測定し、18ptの文字サイズが臨界文字サイズを満たすように視距離を調整した。その他の実験手続きは、研究2と同様であった。

4 刺激と機材

低視力シミュレーションは、OLS(オクルージョン)シミュレーションゴーグル(はんだや製)を用い、優位眼にシミュレーションを行い、反対側は完全遮蔽された。

5 分析方法

「低視力なし」と「低視力あり」のそれぞれにおいて、表示形式要因と文字サイズ要因の2要因実験参加者内分散分析を行ったのち、本研究の主目的であるシミュレーションの影響を明らかにするために、読速度比に基づき群分けし、検討した。ここでは、実験参加者毎に視距離がことなるため、表示された文字サイズで検討するため、文字サイズの単位をポイント(pt)で揃えた。これは、これまでの研究で、読速度への影響は画面サイズと文字サイズの関係が大きいことが示唆されるためである。

第3節 結果

実験参加者毎に「読速度比」を算出した。16名分の読速度比を平均値±1SD内の「不変群」と、平均値-1SDより小さい「低視力なし優位群」、平均値+1SDより大きい「低視力あり優位群」の3グループに分けて分析した。結果を Fig. 1-3 に示した。

各表示形式(4条件)及び文字サイズ(4条件)の16条件で1×3の χ^2 検定を行った。

固定形式では、25ptで有意な偏りがみられた($\chi^2(2) = 11.375, p < .01$)。ライアンの名義水準を用いた多重比較の結果、低視力なし優位群 > 低視力あり優位群となった($\alpha = .05$)。

行移形式では、偏りの有意差は見られなかった。

一行形式では、18pt($\chi^2(2) = 14.000, p < .01$), 25pt($\chi^2(2) = 21.125, p < .01$)で有意な偏りがみられた。ライアンの名義水準を用いた多重比較の結果、文字サイズ 18pt では、低視力なし優位群>低視力あり優位群となり($\alpha = .05$), 25pt では、低視力なし優位群>不偏群, 及び低視力なし優位群>低視力あり優位群であった($\alpha = .05$)。

切片形式では、18pt で偏りに有意差がみられた($\chi^2(2) = 16.625, p < .01$)。ライアンの名義水準を用いた多重比較の結果、低視力なし優位群>不偏群, 及び低視力なし優位群>低視力あり優位群であった($\alpha = .05$)。

第4節 考察

読速度比の結果、18pt, 25pt の小さい文字サイズで「低視力なし優位」の度数が多い傾向であった。行移形式では有意差がみられなかったものの、傾向は一貫していた。本実験では、臨界文字サイズが 18pt になるように視距離を調整したため、氏間・島田・小田(2007)が指摘したように、臨界文字サイズで読速度が最大読書速度に達しなかった結果であると考えられる。また、Fig. 1-3 からは、全体的に低視力なし有意の傾向であるため、低視力により読速度全体が抑制的に影響を受けていることが示唆されている。

本実験条件において以下のことが明らかとなった。なお、文字サイズは本実験で設けられた4つの条件における解釈である点と、低視力は 0.3 前後の設定である点に注意する必要がある。

- ・ 読速度比より、文字が小さい条件において、読速度に抑制的に効果を示すのは、固定形式・では 25pt である。
- ・ 読速度比より、文字が小さい条件において、読速度に抑制的に効果を示すのは、一行形式では 18pt, 25pt である。
- ・ 読速度比より、文字が小さい条件において、読速度に抑制的に効果を示すのは、切片形式では 18pt である。

第4章 第1部の総合考察

視野狭窄シミュレーションと低視力シミュレーションの影響により、表示形式と文字サイズの読書環境が読速度に与える影響は異なっていた。擬似視野狭窄の場合は、文字が大きくなると、狭窄なし優位になっていたのに対し、擬似低視力では文字が小さい条件で低視力なし優位になっていた。視野狭窄は文字が大きい状態では、周辺視野が利用できにくくなるためサッケードが不安定になる(苧坂, 1998)ことや、視野に一度に入る文字数が減ることで停留時間の延長が起こる(Osaka, 1992)ことで読速度に抑制的に影響が現れる(石川・中野, 1993)。これらの影響により、文字の大きい条件で読速度が遅くなったことが考えられる。それに対して、擬似低視力で小さい文字サイズ条件において、低視力なし優位になったのは、氏間・島田・小田(2007)が指摘したように、臨界文字サイズでは最大読書速度を出しにくい場合があるため、安定して最大読書速度で読書できなかったことが考えられる。

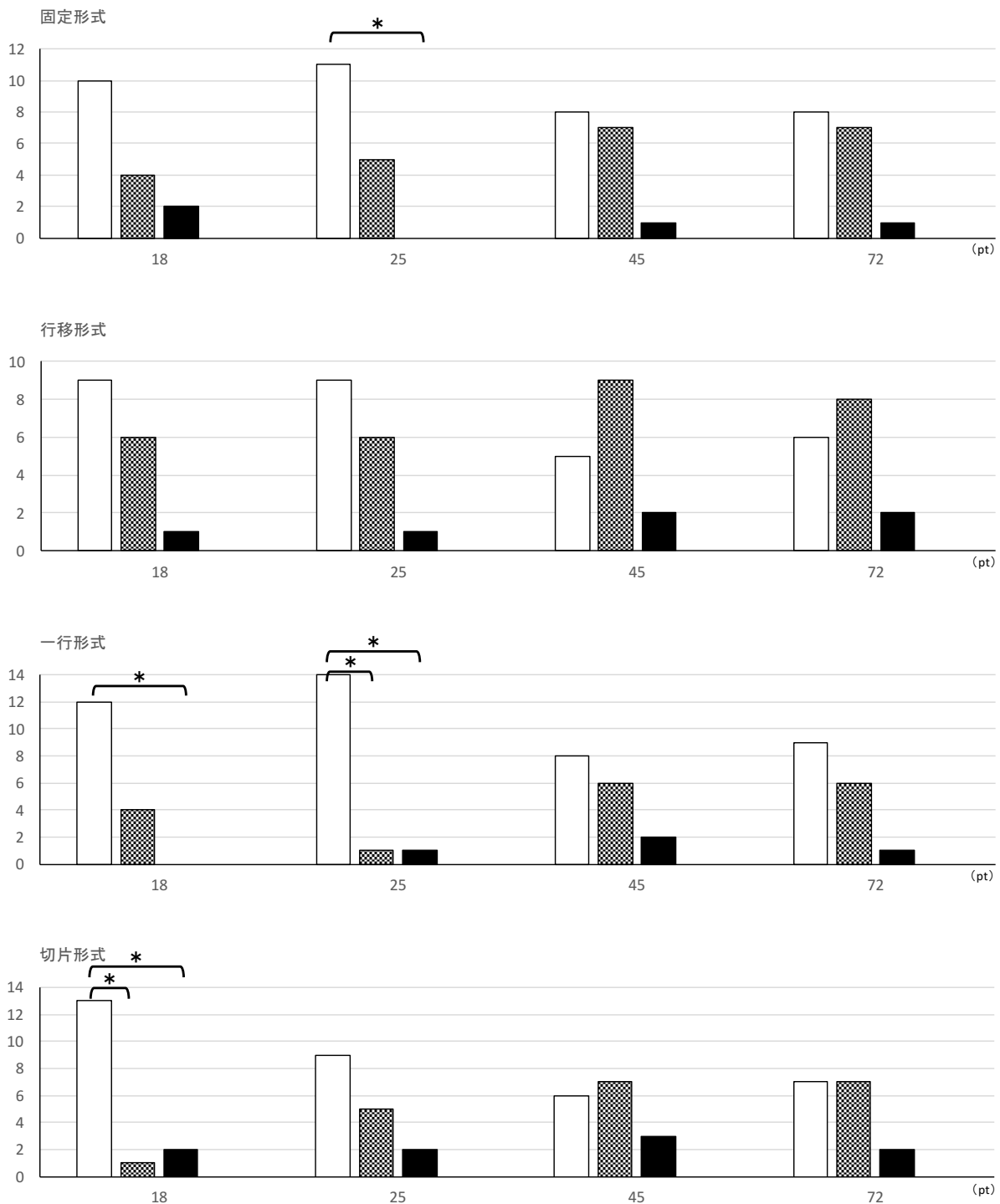


Fig. 1-3 「読速度比」の結果(N=16)

* $p < .05$, ** $p < .01$

真ん中の編み目のグラフは平均±1SD, 白のグラフは平均-1SD未滿(狭窄あり<なし), 黒のグラフは平均+1SDより大きい値(狭窄あり>なし)を示している。

これら一連の研究の結果より, デジタル・リーディングにおいて表示形式と文字サイズが読速度に及ぼす影響は, 晴眼者と視野狭窄や低視力などの弱視条件とでは異なることがシミュレーション実験より明らかとなった。つまり晴眼者データを蓄積してそこから得られたモデルをそのまま弱視の読書環境設定に適用することは困難であることがわかった。

第2部 晴眼者と弱視者のデジタル・リーディングの表示形式と文字サイズが読速度に与える影響の比較

第1章 文字サイズと表示形式が読速度に及ぼす影響

-広い文字サイズ幅による検討-(第4研究)

第1節 目的

本研究では、第1研究で得られた、横スクロールを要する読書環境が読速度に抑制的に作用する結果から、全ての表示形式で横スクロールを生じる文字サイズまで文字サイズ幅を広げて条件を設定し、晴眼の実験参加者を対象に、表示形式と文字サイズが読速度に与える影響を明らかにすることを目的とする。それに基づき、第5研究では、弱視の実験参加者のデータを取得し、第4研究と比較し、晴眼者のモデルとの相違について検討する。

第2節 方法

1 研究デザイン

固定形式、行移形式、一行形式、切片形式の4つの表示形式と7種類の文字サイズを用いた、表示形式要因(4水準)×文字サイズ要因(7水準)の2要因の実験参加者内の要因計画法であった。従属変数は読速度であった。

2 実験期間と実験参加者

実験期間は、2016年6月から2017年1月であった。実験参加者は口頭と紙面によるインフォームド・コンセントを受け、書面で同意の意思を示した晴眼大学生23名(女18名、男5名、18～24歳、平均20.4歳、標準偏差1.7歳)であった。

3 刺激と機材

実験刺激は、小学6年生対象の物語集、「10分で読めるお話 六年生」(学習研究社製)に掲載されている文章から選定された読材料であった。読材料は記号を除く130～160文字であった。固定形式の改行が読速度の低下に貢献する(第1研究)ことから、一行40文字で表示が条件設定された固定形式で改行回数が3回で統制できるように文字数を設定した。文章は28通り作成され、一人の実験参加者においては表示形式と文章の組み合わせはランダムに割り付け、文章の要因の効果を相殺した。

第1部では、余剰変数をできるかぎり統制して、表示形式と文字サイズが読速度に及ぼす影響を観察することを目的としていたため、読材料に慣れさせ、読速度が飽和に達した状態で、実験を実施した。本研究以降は、より実際の読書事態に近づけて読速度への影響を観察することで、実際の読書の現象に迫り、第3部での弱視者の適切な文字サイズ選定の根拠資料とすることを狙いとするため、初見の文章で読書した。

文字サイズは、視角で、 0.4° を起点に $0.2\log\text{UNIT}$ で拡大され、 0.7° 、 1.1° 、 1.7° 、 2.6° 、 4.2° 、 6.6° の7段階で設定された。固定形式は1行40文字であり、文字サイズ 0.7° で1行が提示装置の画面幅に収まり、 1.1° 以上では横スクロールを要した。その程度は、文字サイズ 1.1° では画面幅の1.6倍、 1.7° では2.4倍、 2.6° では3.7倍、 4.2° では6.0倍、 6.6° では9.4倍であった。切片形式では、文字サイズ 6.6° で画面幅を文字列長が超え、読書時に横スクロールを必要とした。

その他の装置と刺激は第1部と同様であった。

4 手続き

第1部と同様であった。

5 分析方法

各変数または変数の組み合わせに対して正規性, 等分散性を検討した後, 表示形式要因と文字サイズ要因の2要因の参加者内の分散分析を行った。

第3節 結果

結果を Fig. 2-1 に示した。分散分析の結果, 表示形式及び文字サイズの交互作用は有意であった ($F(18, 396) = 50.760, p = .000, \eta_p^2 = .698$)。単純主効果の分析の結果, 全ての組み合わせで有意であった。全ての組み合わせでシェイファーの方法 (Shaffer's Modified Sequentially Rejective Bonferroni Procedure) を用いた多重比較を行った。文字サイズ要因における表示形式の単純主効果に基づいた多重比較の結果を示した。

表示形式要因における文字サイズの単純主効果に基づく多重比較の結果を示す。固定形式では, $0.7^\circ > 0.4^\circ$ 及び, 1.1° 以上のサイズでは全ての文字サイズの組み合わせで, 文字サイズが大きい方が, 読速度が遅かった。行移形式及び切片形式では, 6.6° が他の全ての文字サイズより読速度が遅かった。一行形式では, 2.6° 以上のサイズで, 全ての文字サイズの組み合わせで文字サイズの大きい条件の方が, 読速度が遅かった。

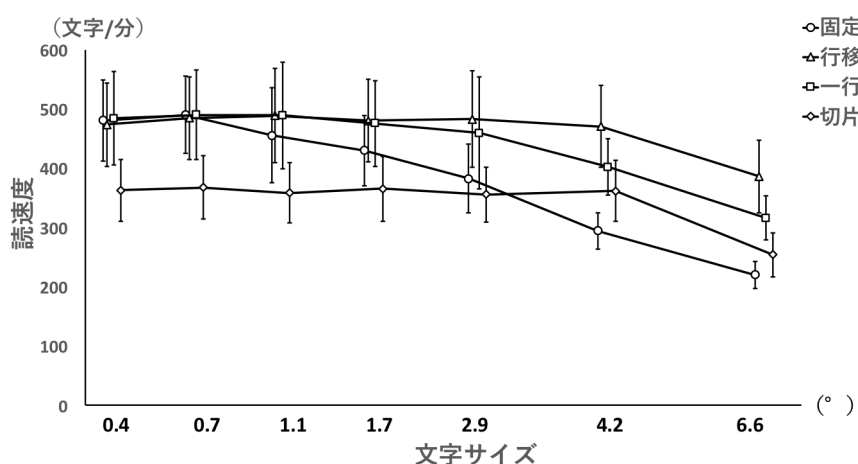


Fig. 2-1 晴眼参加者の文字サイズ及び表示形式が読速度に及ぼす影響

遅かった。一行形式では, 2.6° 以上のサイズで, 全ての文字サイズの組み合わせで文字サイズの大きい条件の方が, 読速度が遅かった。

第4節 考察

表示形式における文字サイズの単純主効果の結果から, 固定形式は 1.1° 以上の全ての文字サイズ条件では, 0.4° と 0.7° よりも読速度が遅かった。この結果は, 第1研究と一貫するものであり, 文字拡大に伴う横スクロール量と行替えの増大が読速度を低下させたと考えられる。文字サイズ 0.4° が 0.7° より遅いのは, 0.4° 条件では文字間や行間が詰まって表示されることになったことから, 文字の混み合いや視線の誘導の困難さが影響したことが予想される (川嶋・小田・藤田・中村・香川, 1999) が, この点は今後の研究が待たれる。

一行形式は 2.6° 以上の文字サイズで読速度が有意に低下していた。本研究で, 一行形式で $1.7^\circ \sim 2.6^\circ$ の間に読速度を低下させる臨界点が存在することが明らかとなった。画面遷移ログから, 一行形式の 1.1° は1文字あたり24ピクセルの遷移量であるのに対し, 1.7° では40ピクセル, 4.2° では109ピクセル, 6.6° では175ピクセルの遷移量であった。こうした1文字あたりの遷移量の増大が, 読速度に抑制的に作用していることは明らかである。Walker (2013) は, 一行形式の読書ツールを作

成して加齢黄斑変性症患者に適用しているが、英語での表記で画面に数文字程度が表示される程度の拡大で読速度を保っているとしている。この読速度の安定は本研究でいうところの、一行形式で読速度が下がった状態で安定していると捉えることができよう。

行移形式と切片形式は文字サイズ 6.6°で読速度が有意に低下した。この2つの条件で読速度の有意な低下を確認できたのは、第1研究を参考に、本研究において文字サイズの設定幅を拡大した結果である。行移形式では、4文字程度で、画面幅内で視線の行替えをする必要がある(苧坂, 1998), 併せて上へ画面をスクロールする必要がある。これらの負荷が読速度を低下させたと考えられる。切片形式においても横スクロールが生じる程度まで拡大すると読速度は低下することが確認できた。

本研究により、以下のことが明らかとなった。

- ・ 全ての表示形式で読速度が低下する文字サイズの存在が確認され、十分に大きな文字サイズまで設定することで、最大文字サイズの検討が可能であった。
- ・ 固定形式が文字拡大に最も敏感に反応して読速度が低下し、次いで一行形式であった。
- ・ 最も文字拡大に対して読速度が影響を受けないのは、行移形式と切片形式であった。その2つのうち、読速度が速いのは行移形式であった。切片形式が他の3つの表示形式よりも読速度が遅いのは第1研究の結果と一貫していた。

これらのことから、全ての表示形式において最大文字サイズの存在の可能性が示唆された。

第2章 デジタル・リーディングの読速度に表示形式と文字サイズが及ぼす影響について-晴眼者と弱視者の比較-(第5研究)

第1節 目的

本研究では、第4研究の結果と、弱視参加者の表示形式と文字サイズが読速度に及ぼす影響を定性的に比較することを目的とする。第4研究の多重比較の結果に弱視参加者の多重比較の結果を対比させ、表示形式と文字サイズが読速度に与える影響の相違について明らかにする。

第2節 方法

1 研究デザイン

晴眼参加者を対象に表示形式と文字サイズを操作し読速度を測定した研究4の結果を用いる。本研究では、弱視の実験参加者に対して、表示形式と文字サイズを操作し読速度を繰り返し測定する。両者の2要因分散分析の結果から、文字サイズ要因の主効果、または表示形式要因における文字サイズ要因の単純主効果に着目し検討する。

2 実験期間と実験参加者

実験期間は2016年5月から2017年1月であった。実験参加者は紙面と口頭によるインフォームド・コンセントを受け、書面で同意の意思を示した高校生から成人までの7名であった(15~64歳, 平均:24.9, 標準偏差:17.6)。実験場所は広島大学教育学部の研究室, ホテルの会議室(岡山), 国際会議場の会議室(茨城)で実施された。

3 手続き

実験前に、logMAR 近見視力, 日用視野, 臨界文字サイズを測定した。質問紙により眼疾, 症状

について聞き取った。実験は練習試行と、本実験で構成された。

文字サイズは、氏間ら(2007)の方法に従い、臨界文字サイズ(CPS)+0.2 logUNIT 以上で、本人が無理なく読めると判断した文字サイズになるよう視距離を調整し、その文字サイズを基本文字サイズとした。実際に設定した文字サイズは、視角で、基本文字サイズから+0.2 logUNIT と、+0.4 logUNIT であった。CPS+0.2 logUNIT で提示し、本人が小さいと感じた場合、0.1 logUNIT ずつ大きくしていき、無理なく読める最小の文字サイズを基本文字サイズに設定した。実験参加者は、表示形式(4水準)×文字サイズ(3水準)×試行数(4)=48 試行実施された。今回は、個々の弱視者と晴眼者との結果を比較し、定性的に検討することが目的であるため、弱視者は繰り返し実施し、文字サイズは3つにすることで、眼への負担を軽減するようにした。。その他の手続きは、研究4と同様であった。一人当たりの実験時間は1時間 30 分から 2 時間であった。

4 刺激と機材

実験に用いた刺激、機材は、研究4と同様であった。

5 分析方法

晴眼者では 0.4° から 6.6° までの7段階の文字サイズで読速度を測定した研究4の結果を利用した。弱視者はそのうちの3段階の文字サイズで読速度を測定したことになる。弱視者は同一条件で4回読速度を測定し、その平均値に対し参加者間分散分析を実施した。晴眼者は弱視者に対応する文字サイズの読速度について参加者内分散分析を実施した。両者の分散分析の結果から、交互作用、文字サイズの主効果を比較した。文字サイズで比較する際は、印刷サイズであるポイントを用いた、理由は、文字サイズの変化が表示形式毎の操作性に及ぼす影響が大きいと考えられる(氏間, 2017)ためである。

第3節 結果

弱視の実験参加者のプロフィールを Table 2-1 に掲載した。弱視の実験参加者の実験条件を Table 2-2 に示した。弱視参加者の基本文字サイズが 18pt であったのは、L02, L05, L06, L07 の4名であった。弱視参加者の基本文字サイズが 29pt でああったのは、L01 の1名であった。弱視の実験参加者の基本文字サイズが 45pt であったのは、L03, L04 の2名であった。Lは弱視(Low vision)を示す記号とした。

1 基本文字サイズ 18pt

18pt が基本文字サイズとして、29pt, 45pt の3条件における晴眼参加者と弱視参加者の読速度の結果を検討した(Fig. 2-2)。

晴眼参加者の読速度を従属変数とし、表示形式(4水準)、文字サイズ(3水準)の参加者内2要因分散分析の結果、交互作用($F(6, 132) = 11.1, p = .000, \eta_p^2 = .0335$)、表示形式の主効果($F(3, 66) = 85.3, p = .000, \eta_p^2 = .795$)、文字サイズの主効果($F(2, 44) = 14.1, p = .000, \eta_p^2 = 0.391$)であり、全て有意であった。

弱視参加者 L02 の結果は、交互作用($F(6, 36) = 4.3, p = .002, \eta_p^2 = .0425$)、表示形式の主効果($F(3, 36) = 140.3, p = .000, \eta_p^2 = .921$)、文字サイズの主効果($F(2, 36) = 2.2, p = 0.123, \eta_p^2 = 0.110$)であり、交互作用と文字表示形式の主効果が有意であった。弱視参加者 L05 の結果は、交互作用($F(6, 36) = 2.3, p = .0553, \eta_p^2 = .277$)は有意でなかった。

表示形式の主効果($F(3, 36) = 32.0, p = .000, \eta_p^2 = .728$), 文字サイズの主効果($F(2, 36) = 6.2, p = 0.005, \eta_p^2 = .256$)は有意であった。弱視参加者 L06 の結果は, 交互作用($F(6, 36) = 0.9, p = .4968, \eta_p^2 = .196$)は有意でなかった。表示形式の主効果($F(3, 36) = 114.3, p = .000, \eta_p^2 = .887$)は有意であったが, 文字サイズの主効果($F(2, 36) = 1.3, p = 0.294, \eta_p^2 = .153$)は有意でなかった。弱視参加者 L07 の結果は, 交互作用($F(6, 36) = 1.5, p = .219, \eta_p^2 = .090$)の有意差はみられなかった。表示形式の主効果($F(3, 36) = 94.4, p = 0.000, \eta_p^2 = .666$)は有意であったが, 文字サイズの主効果($F(2, 36) = 3.3, p = 0.050, \eta_p^2 = .132$)でなかった。

2 基本文字サイズ 29pt

29ptが基準の文字サイズにおいては, 29pt, 45pt, 72pt の3条件の文字サイズにおける晴眼参加者と弱視参加者の読速度の結果を Fig. 2-3 に示した。

晴眼参加者において, 読速度を従属変数とし, 表示形式(4水準), 文字サイズ(3水準)の参加者内2要因分散分析を実施した。交互作用($F(6, 132) = 15.2, p = .000, \eta_p^2 = .408$), 及び表示形式の主効果($F(3, 66) = 69.9, p = .000, \eta_p^2 = .761$), 文字サイズの主効果($F(2, 44) = 27.8, p = .000, \eta_p^2 = .559$)が有意であった。

弱視参加者 L01 の結果について分散分析を実施した結果, 交互作用($F(6, 36) = 7.8, p = .000, \eta_p^2 = .584$), 表示形式の主効果($F(3, 36) = 43.7, p = .000, \eta_p^2 = .785$), 文字サイズの主効果($F(2, 36) = 5.4, p = .009, \eta_p^2 = .230$)の全てが有意であった。この分散分析表を Table 2-2-14 に示した。

3 基本文字サイズ 45pt

45pt を基本文字サイズとして, 72pt, 118pt の3条件の文字サイズにおける晴眼参加者と弱視参

Table 2-1 弱視参加者のプロフィール

参加者	年齢	logMAR 視力	眼疾患	その他の症状	CPS (度)	実験距離 (cm)
L01	18	0.8	白内障・脈絡膜萎縮	羞明, 眼球振盪	1.3	12
L02	20	0.8	黄斑低形成	眼球振盪	1.1	12
L03	15	0.6	網膜剥離	なし	1.1	20
L04	15	0.5	虹彩欠損	羞明	0.8	30
L05	64	0.6	網膜色素変性症	羞明, 視野狭窄	1.0	8
L06	19	0.5	白内障術後・緑内障	なし	1.0	12
L07	19	0.5	先天性弱視	なし	1.0	12

CPS : 臨界文字サイズ

Table 2-2 弱視参加者の実験条件

参加者	実験距離 (cm)	文字サイズ (度)			文字サイズ (pt)		
		2.6	4.2	6.6	29	45	72
L01	12	2.6	4.2	6.6	29	45	72
L02	12	1.7	2.6	4.2	18	29	45
L03	20	2.6	4.2	6.6	45	72	114
L04	30	1.7	2.6	4.2	45	72	114
L05	8	2.6	4.2	6.6	18	29	45
L06	12	1.7	2.6	4.2	18	29	45
L07	12	1.7	2.6	4.2	18	29	45

pt : ポイント

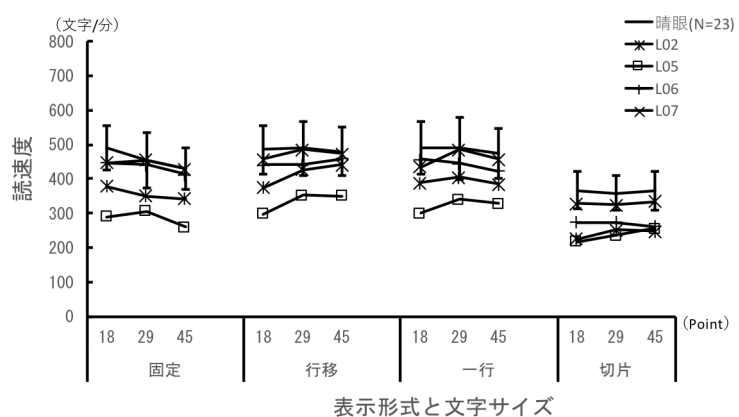


Fig. 2-2 晴眼参加者と弱視参加者の読速度(18pt, 29pt, 45pt)

加者 L03, L04 の読速度の結果を Fig. 2-4 に示した。

晴眼参加者の読速度を従属変数とし、表示形式(4水準)、文字サイズ(3水準)の参加者内2要因分散分析を実施した。その結果、交互作用($F(6, 132) = 43.1, p = .000, \eta_p^2 = .662$), 表示形式の主効果($F(3, 66) = 89.7, p = .000, \eta_p^2 = .803$), 文字サイズの主効果($F(2, 44) = 66.2, p = .000, \eta_p^2 = .751$)は有意であった。

弱視参加者 L03 の結果は、交互作用($F(6, 36) = 3.3, p = .010, \eta_p^2 = .358$), 表示形式の主効果($F(3, 36) = 34.8, p = .000, \eta_p^2 = .744$), 文字サイズの主効果($F(2, 36) = 3.6, p = 0.039, \eta_p^2 = .166$)であり、交互作用及び表示形式と文字サイズの主効果が有意であった。結果を Table 2-2-17 に掲載した。弱視参加者 L04 の分散分析の結果は、交互作用($F(6, 36) = 13.0, p = .000, \eta_p^2 = .684$), 表示形式の主効果($F(3, 36) = 44.2, p = .000, \eta_p^2 = .786$), 文字サイズの主効果($F(2, 36) = 7.1, p = .003, \eta_p^2 = .282$)であり (Table 2-2-18), 交互作用及び表示形式と文字サイズの主効果が有意であった。

3 交互作用の比較

交互作用は、晴眼参加者では基本文字サイズ 18pt, 29pt, 45pt の全てで有意であった。弱視参加者で交互作用が有意だったのは L02, L03, L04 の3名のみであった。L02 で有意であった単純主効果は、全ての文字サイズ条件における表示形式要因と、行移形式水準における文字サイズ要因であった(全て、1%水準)。行移形式の多重比較の結果は、18pt < 29pt, 29pt < 45pt であった(5%水準)。L03 で有意であった単純主効果は全ての文字サイズ条件における表示形式要因と、固定形式水準における文字サイズ要因であった(全て、1%水準)。固定形式における文字サイズ要因の多重比較の結果は 45pt > 72pt, 45pt > 118pt であった(5%水準)。L04 で有意であった単純主効果は全ての文字サイズ条件における表示形式要因と、固定形式水準、一行形式水準、切片

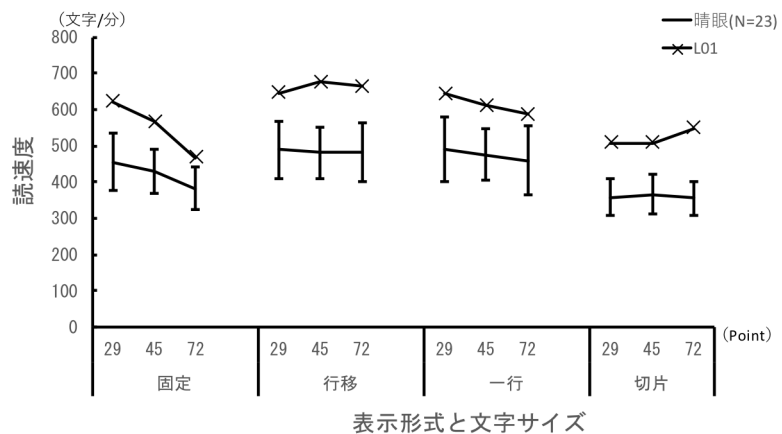


Fig. 2-3 晴眼参加者と弱視参加者の読速度(29pt, 45pt, 72pt)

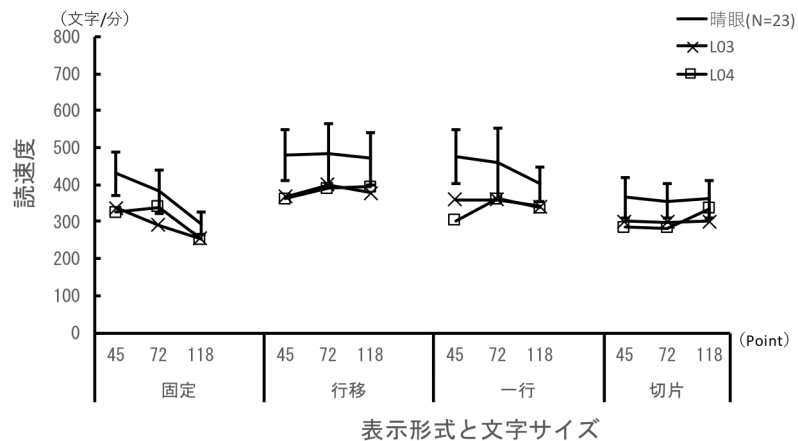


Fig. 2-4 晴眼参加者と弱視参加者の読速度(45pt, 72pt, 118pt)

形式水準における文字サイズ要因であった(全て、1%水準)。多重比較の結果、固定形式においては、45pt>72pt, 72pt>118pt, 一行形式においては、45pt<72pt, 45pt<118pt, 切片形式においては、45pt>72pt, 72pt>118pt であった。晴眼参加者でみられた、一行形式における多重比較の結果は、45pt>72pt, 45pt>118pt, 72pt>118pt であった(5%水準)。

L02 は基本サイズが 18pt であり、同サイズの晴眼参加者の単純主効果は、全ての文字サイズ条件における表示形式要因のみであり(1%水準)、各表示形式水準における文字サイズ要因では有意ではなかった。L03, L04 の基本サイズは 45pt であり、同サイズの晴眼参加者の単純主効果は、全ての文字サイズ条件における表示形式要因と、一行形式水準における文字サイズ要因で有意であった(1%水準)。

4 文字サイズの主効果の比較

文字サイズの主効果は、晴眼参加者では基本文字サイズ 18pt, 29pt, 45pt の全てで有意であった。弱視参加者で、文字サイズの主効果が有意だったのは、L05, L01, L03, L04 の 4 名であった。多重比較の大小関係を、晴眼参加者と弱視参加者で比較した表を Table2-3 に示した。その結果、晴眼参加者と弱視参加者との間で、大小関係の有意差が一致する組み合わせは、0組であり、一致率は 0%であった。

5 表示形式の主効果の比較

表示形式の主効果は、晴眼参加者では基本文字サイズ 18pt, 29pt, 45pt の全てで有意であった。弱視参加者は全てで表示形式要因の主効果が見られた。多重比較の結果を Table2-4 に示した。晴眼参加者と弱視参加者の間で各組み合わせの大小関係が一致していたのは、6組中、L06 が 6 組、一致率は 100%, L01, L02, L07, L06 が 5 組、一致率が 83%, L03, L04 が 4組、一致率が 67%であった。一致率の平均は、81%であった。

第4節 考察

1 交互作用について

弱視参加者の L02, L03, L04 の単純主効果のうち、文字サイズ要因における各水準における表示形式の単純主効果は全ての文字サイズ条件で有意であったため、表示形式の主効果で述べる。ここでは、表示形式要因の各水準における、文字サイズ要因の単純主効果について扱う。L02 の基本サイズは 18pt であり、晴眼参加者ではこのサイズでは文字サイズ要因の単純主効果はみられ

Table 2-3 晴眼参加者と弱視参加者の文字サイズの多重比較の結果

		29pt	45pt	72pt	118pt
18pt	晴眼	>	>	>	>
	L05	<	n.s.		
29pt	晴眼	>	>	>	
	L05		n.s.		
	L01		n.s.	>	
45pt	晴眼			>	>
	L01			n.s.	
	L03			n.s.	n.s.
	L04			<	n.s.
72pt	晴眼				>
	L03				n.s.
	L04				n.s.

Table 2-4 晴眼参加者と弱視参加者の表示形式の多重比較の結果

			行移	一行	切片	
固定	18pt	晴眼	<	<	>	
		L02	<	<	>	
		L05	<	<	>	
	29pt	L06	n.s.	n.s.	>	
		L07	<	n.s.	>	
		45pt	L01	<	<	>
			L03	<	<	n.s.
行移	18pt	L04	<	<	n.s.	
		晴眼		n.s.	>	
		L02		>	>	
	29pt	L05		n.s.	>	
		L06		n.s.	>	
		L07		n.s.	>	
		45pt	L01		>	>
L03			>	>		
L04			>	>		
一行	18pt	晴眼			>	
		L02			>	
		L05			>	
	29pt	L06			>	
		L07			>	
		45pt	L01			>
			L03			>
L04				>		

ない文字サイズである。しかし、L02 では、行移形式でのみ単純主効果が有意となった。Fig. 2-2 の L02 のマーカーが示す通り、18pt の読速度は、固定形式が 378.8 文字/分、行移形式が 374.5 文字/分、一行形式が 389 文字/分、切片形式が 225.8 文字/分であり、固定形式・行移形式・一行形式が同等の読速度で、切片形式が遅い読速度といった点で晴眼者の傾向と同様である。文字サイズが 29pt, 45pt と拡大されると、18pt の時と比べ文字サイズとしては読みやすくなり、それが行移形式で見られたと考えられる。氏間ら(2007)によれば、CPS を担保していても、長文を読む際、読速度が十分にでないこと、さらに眼球振盪があると、そのことが起こりやすいことを指摘した。L02 は臨界文字サイズが 1.1 度であるのに対し、基本サイズが 1.7 度である。他の参加者が2倍以上を基本サイズにしていることに比べると基本サイズが小さい。また、眼球振盪もみられる(Table 2-1)。固定形式は晴眼参加者でも 29pt を超えると読速度が低下する(第4研究)。よって、29pt で文字サイズは十分に読みやすい大きさであるものの、操作性の低下が読速度に抑制的に作用し、読速度が伸び悩んだと考えられる。1行形式においても、29pt 以上で読みやすいサイズになったものの、何らかの原因で読速度が伸び悩んだと考えられる。一行形式は視運動性眼振が生じることが知られている(Legge et al., 1985a)。滑動性眼球運動と衝動性眼球運動の単調な眼球の往復運動が、不随意運動である眼球振盪があることで、不安定になり、読速度が伸び悩んだものと考えられる。行移形式は静的な読素材に近いのに対し、一行形式は動的な読素材である。この違いに起因する眼球運動の相違が読速度に影響したことは十分想定できる。横スクロール表示の読書の実験では、スクロールが遅い際はサッケードと停留の組み合わせで読書するが、ある速度からサッケードと追従性眼球運動の組み合わせ、つまり視運動性眼球振盪が生じるその、眼球運動の変化が読速度に抑制的に作用するという考え方もある(窪田・伊藤・岡田・小田, 2003)。読速度は変わらなくとも、文字サイズは大きくなっているのであるから、文字が視界を流れる距離は大きくなっている。この点が文字の拡大によっても一行形式の読速度が伸び悩んだ原因であると考えられる。固定形式は、他の3つの表示形式と異なり読速度が低値で安定することが明らかとなった(第4研究)。よって、ここでも読速度に変化がなかったものと考えられる。

L03 の読速度は、固定形式において 45pt > 72pt, 45pt > 118pt の関係がみられた。L04 は 45pt > 72pt, 72pt > 118pt, であった。晴眼参加者では 45pt, 72pt, 118pt の全ての関係で文字の大きい方が読速度が有意に遅い関係がみられた。このことは、L03, L04 の読速度が晴眼参加者よりも低いことに起因することが予想できる。Fig. 2-2 をみると、L03, L04 とともに晴眼参加者のグラフの下に位置している。つまり、様々な条件が揃うと、L03, L04 の読速度も晴眼参加者のような大小関係が生まれるはずである。しかし、今回はそうはならなかった。読速度が遅いと、操作性が低下したとしても、その影響を読速度が受けにくくなると考えられる。Aries(1999)の ESP の研究においても、弱視者の低速読者は高速読者とは異なった、独特の結果を示している。Bailey, Lueck, Greer, Tuan, Bailey, and Dornbusch (2003)は、単語や文字の音読を課した場合、文字の音読よりも速度の遅い単語の音読の臨界文字サイズが小さくなる可能性を示唆した。これらのように、読速度が遅いと、通常は見られない現象が生じることは知られている。L04 で見られた、一行形式での、45pt < 72pt, 45pt < 118pt, 切片形式においての、45pt > 72pt, 72pt > 118pt についても、晴眼参加者とは異なった特有の大小関係を示しており、これらについても、操作性や文字サイズといった、晴眼参加者が

読速度に影響を受ける要因とは異なった, 原因が存在するものと考えられる。

2 文字サイズの主効果について

4名の弱視参加者の文字サイズの主効果の多重比較の大小関係は晴眼者と一致する組み合わせはなかった。文字サイズが読速度に及ぼす影響は, 弱視者では特有の動向を示すことが示唆された。また, 3名の弱視参加者では文字サイズの主効果はみられなかった。

3 表示形式の主効果について

全ての弱視参加者の表示形式の主効果が有意であり, 多重比較の組み合わせの晴眼者との一致率は81%であった。このことから表示形式が読速度に与える影響は晴眼者, 弱視者を問わず, 安定した効果であると考えられる。

本研究から, 以下のようなことが明らかとなった。

- ・ 表示の主効果は弱視参加者の全員で見られたことから, 安定した効果であると考えられる。
- ・ 全ての弱視参加者で切片形式が有意に低速である。
- ・ 読速度が遅い場合は, 晴眼者において読速度が受ける影響とは異なった要因から影響を受ける可能性が示唆される。
- ・ 弱視参加者は, シミュレーションとは異なり, 見え方の要因が複合的であり, それぞれに個別的な結果を表す。

第3章 第2部の総合考察

不随意運動である眼球振盪がある場合, 単純な眼球運動の繰り返しである視運動性眼振が不安定になり, 一行形式の読速度に抑制的に作用する可能性がある。

臨界文字サイズを利用する場合, その2倍以上の文字サイズを担保することを一つの基準にすることで, 各表示形式の最大の利得を得られる可能性がある。ただし, 表示サイズが大きくなることで, その影響は縮小する可能性がある。

第3部 弱視者の視覚特性に適したデジタル・リーディングの環境設定法に関する研究

第1章 晴眼者における表示形式と文字サイズが読速度に及ぼす影響(第6研究)

第1節 目的

晴眼参加者を対象に, 最大文字サイズの観測可能性を明らかになったことから(研究4), 表示形式が最大読速度や最大文字サイズに及ぼす影響を検討することを目的とする。

第2節 方法

1 研究デザイン

固定形式, 行移形式, 一行形式, 切片形式の4つの表示形式において, 最大文字サイズと最大読速度を算出し, 表示形式要因(4水準)が, 最大文字サイズ及び最大読速度に及ぼす影響を検討する1要因の参加者内計画であった。

2 実験期間と実験参加者

実験期間及び参加者は, 第2部第1章の実験と同様であった。

3 刺激と機材

刺激及び機材は、第2部第1章と同様であった。

4 手続き

手続きは、第2部第1章と同様であった。

5 分析方法

表示形式を独立変数、従属変数を最大文字サイズ、または最大読書速度とした分析を実施する。

第3節 結果

1 表示形式が最大文字サイズに及ぼす影響

シャピロー・ウィルク(Shapiro- Wilk)の正規性検の結果、正規性に従っているという帰無仮説が棄却されたため、クラスカル・ウォリス検定(Kruskal - Wallis rank sum test)を実施した。その結果、中央値の差は有意であった($\chi^2(3) = 62.136, p = .000$)。中央値を示した箱ひげ図を Fig. 3-1 に示した。スティール・ドウワス(Steel-Dwass)法による多重比較の結果、行移形式と切片形式の組み合わせ以外の、全ての組み合わせで有意差がみられた(5%水準)。

2 表示形式が最大読書速度に及ぼす影響

最大読書速度を参加者毎に算出し、そのグラフを Fig. 3-2 に示した。最大読書速度を従属変数、表示形式を独立変数とした一要因参加者内分散分析の結果、表示形式が最大読書速度に及ぼす効果は有意であった($F(3, 66) = 85.043, p = .000, \eta_p^2 = .795$)。シェイファー(Shaffer)の方法による多重比較の結果、固定形式・行移形式・一行形式 > 切片形式であった(5%水準)。

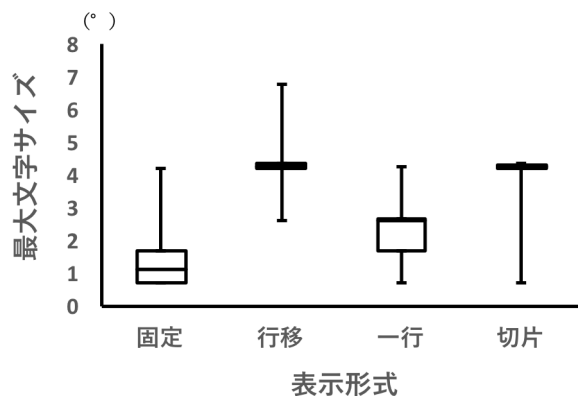


Fig. 3-1 表示形式における最大文字サイズ

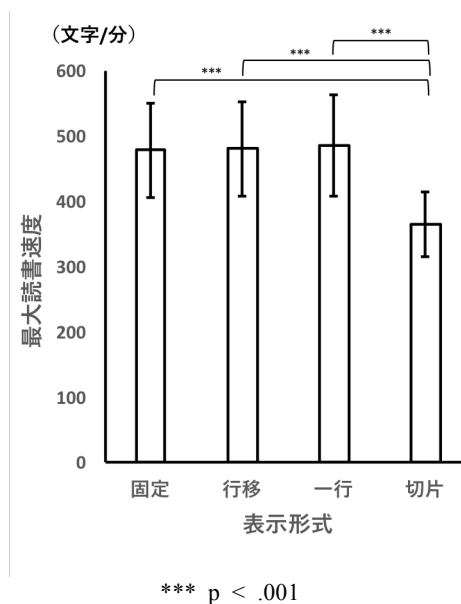


Fig. 3-2 表示形式における最大読書速度

第4節 考察

本研究では、Mansfield, et. al. (1996)及び氏間ら(2007)のアルゴリズムに基づいて最大文字サイズを算出し、その値が表示形式から受ける効果を確認した。その結果、最大文字サイズは、固定形式 < 行移形式・一行形式・切片形式、一行形式 < 行移形式・切片形式であった。この結果は、第1研究及び第4研究の表示形式と文字サイズが読速度に及ぼす影響の結果と一貫しており、信頼性が高い推定方法であると考えられる。この手続きを利用することで、弱視者のように文字を拡大して読書する必要がある状態において、あらかじめ表示形式毎にデジタル・リーディングに適し

た文字サイズの拡大の範囲を推定できる可能性を、この結果は示している。

最大読書速度が表示形式から受ける影響も明らかとなった。この結果は、第1研究及び第4研究でみられた、表示形式が読速度に与える主効果とも一貫しており、切片形式の読速度は他の3つの表示形式よりも遅くなることを改めて示した結果であった。Rubin and Turano(1992)は、RSVPがページ形式よりも読速度が高速なこと、Aries(1999)は、RSVPよりも、ESPが高速であったことを説明し、その理由として眼球運動が生じないことを挙げている。しかし、本研究では切片形式が最も遅い読速度となった。これは、文字数で切片化したことによる意味的処理の負荷の増大(小林・関口・新堀・川嶋, 2017)と、タップ操作による負荷の増大の2つが考えられるわけだが、この原因の解明と、より読速度を高速化できる切片化形式の検討は、後の研究がまたれる。

本研究では、文字サイズの設定範囲を第1研究より広げ、晴眼の実験参加者により、デジタル・リーディングを行う際に表示形式別に読書に適した文字サイズ範囲を推測する可能性を確かめるため、最大文字サイズと最大読書速度の算出を行なった。その結果以下のことが明らかとなった。

- ・最大文字サイズは固定形式が最も小さく、次いで一行形式、最も大きいのは行移形式と切片形式であった。
- ・最大読書速度は、切片形式が最も遅くなった。

これらの結果から、晴眼者において文字サイズを拡大しても読速度を高速に保って読書できる表示形式は、行移形式と一行形式となった。

第2章 弱視者の視覚特性に応じた臨界文字サイズ及び最大文字サイズを利用した最適環境推定法の研究(第7研究)

第1節 目的

本研究では、弱視の実験参加者を対象に、第6研究と同じ実験方法を用いて、最大文字サイズ及び最大読書速度を推定する。その際、test-retest法を用いて、最大文字サイズの信頼性を検討し、弱視者のデジタル・リーディングに適した環境設定に最大文字サイズを適用する可能性について明らかにすることを目的とする。

第2節 方法

1 研究デザイン

弱視の実験参加者を対象に、固定形式、行移形式、一行形式、切片形式の4つの表示形式と7種類の文字サイズを用いて、最大文字サイズ(Maximum Print Size : MPS)と最大読書速度(Maximum Reading Speed : MRS)を算出し、test - retest法を実施し、最大文字サイズの再現性について明らかにすることを目的とする。再現性を検討することで弱視者のデジタル・リーディングの表示条件設定において最大文字サイズの実効性が明らかとなり、弱視者のデジタル・リーディング環境設定に大きく寄与できると考えられる。なお、比較対象のため晴眼の実験参加者にも同様の実験を施す。

2 実験期間と実験参加者

実験期間は、2017年5月から9月であった。実験参加者は、東京の研究マネジメント会社がリクルートした弱視者、及び民間研究室の教育相談に通う弱視者、15名(平均:33.9, 標準偏差:12.8)であった。晴眼の実験参加者は晴眼大学生6名(18~19歳, 平均:18.8, 標準偏差:0.41)であっ

た。

3 刺激と機材

刺激及び機材は、第4研究(第2部第1章)と同様であった。test 時と retest 時とでは、読材料と表示条件の組み合わせをランダムに変えた。

4 手続き

実験参加者は基礎調査で、臨界文字サイズ及び最大読書速度と日用視野を測定された。実験時には臨界文字サイズを上回るように視距離を設定した。しかし、視距離が小さすぎると操作性を低下させるため、操作性を下げないようにするため、最短の視距離を 10cm とした。また、30 分の休憩を挟んで、同様の実験を休憩前後に1度ずつ、合わせて2度実施した。晴眼参加者は1時間 30 分以内、弱視参加者は 3 時間以内に実験を終了した。

その他の手続きは、第4研究と同様であった。

5 分析方法

弱視の参加者及び晴眼の参加者のそれぞれの最大文字サイズ及び最大読書速度の test の結果と retest の結果を用い、参加者特性(晴眼・弱視)、表示形式(固定形式・行移形式・一行形式・切片形式)、実験回(test・retest)の3要因分散分析を行なった。その際、最大文字サイズは文字の長さの場合とで検討した。網膜像の大きさに着目する場合は視角で検討することが適当であるが、デジタル・リーディングの場合は操作性が読速度に大きく影響を及ぼし、その操作性は実際に表示されている文字の大きさの影響を受けるため、2つの単位で検討し、どちらの単位で最大文字サイズを検討することが適当か検討した。

test-retest の再現性を検討するために相関分析を行なった。さらに、最大文字サイズの予測可能性について、弱視者の視覚特性、臨界文字サイズ、表示形式を説明変数とした重回帰分析を行なった。

第3節 結果

実験途中で辞退した者が3名いたため、結果の集計より除外した。辞退の原因は、眼の疲労と実験時間の延長であった。

文字の大きさを、文字の高さ(単位:mm)で計算した結果について示した(Fig. 3-3)。実験参加者要因、表示形式要因、試行回要因の3要因混合分散分析を実施した。3要因の交互作用は有意ではなかった($F(3,48) = 0.788, p = .507, \eta_p^2 = .047$)。2要因の交互作用について検討した。参加者要因と表示形式要因の交互作用は有意であった($F(3,48) = 4.304, p = .009, \eta_p^2 = .212$)。参加者要因と試行回要因の交互作用は有意ではなかった($F(1,16) = 2.376, p = .143, \eta_p^2 = .129$)。表示形式

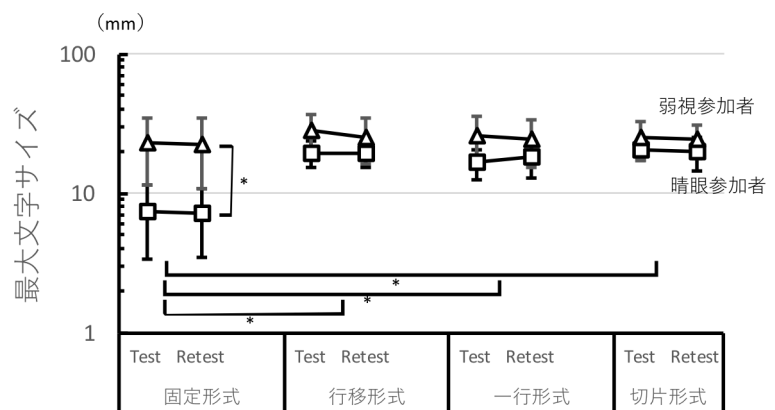


Fig. 3-3 最大文字サイズの結果(単位:mm)

* $p < .05$
** $p < .01$
*** $p < .001$

表示形式

要因と試行回要因の交互作用も有意ではなかった($F(3,48) = 0.508, p = .678, \eta_p^2 = .031$)。結果のグラフを Fig. 3-3 に示した。

参加者要因の主効果は有意であった($F(1,16) = 6.459, p = .022, \eta_p^2 = .288$)。表示形式要因の主効果も有意であった($F(3,48) = 10.873, p = .000, \eta_p^2 = .405$)。試行回数要因は有意ではなかった($F(1, 16) = 1.282, p = .274, \eta_p^2 = .074$)。

参加者要因と表示形式の交互作用が有意であったため、単純主効果を求めた結果、固定形式における参加者要因($F(1, 16) = 10.099, p = .006, \eta_p^2 = .387$)と、晴眼参加者における表示形式要因($F(3,48) = 14.041, p = .000, \eta_p^2 = .467$)に有意差がみられた。固定形式における参加者要因は、弱視参加者>晴眼参加者であった。晴眼参加者において、Holm 法を用いた多重比較の結果、行移形式・一行形式・切片形式>固定形式であった。

最大文字サイズの test - retest の結果を相関分析した。弱視参加者の結果は、

固定形式は有意であり($r = .929, t(10) = 7.953, p = .000$)、グラフを Fig. 3-4 に示した。

行移形式は有意であり($r = .855, t(10) = 5.221, p = .000$)、グラフを Fig. 3-5 に示した。

一行形式は有意であり($r = .902, t(10) = 6.596, p = .000$)、グラフを Fig. 3-6 に示した。

切片形式は有意であり($r = .856, t(10) = 5.236, p = .000$)、グラフを Fig. 3-7 に示した。

晴眼参加者の結果は、

固定形式は有意であり($r = .980, t(4) = 4.124, p = .015$)、グラフを Fig. 3-4 に示した。

行移形式は有意であり($r = .250, t(4) = 0.516, p = .633$)、グラフを Fig. 3-5 に示した。

一行形式は有意であり($r = .483, t(4) = 1.103, p = .332$)、グラフを Fig. 3-6 に示した。

切片形式は有意であり($r = .1000, t(4) = \text{Inf}, p = .000$)、グラフを Fig. 3-7 に示した。

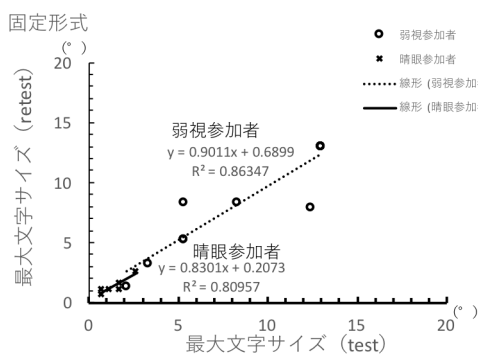


Fig. 3-4 最大文字サイズの1回目と2回目の相関図(固定形式)

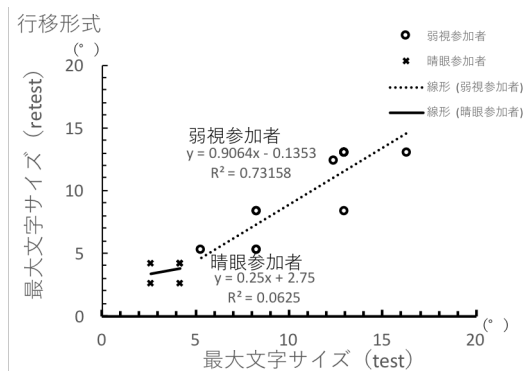


Fig. 3-5 最大文字サイズの1回目と2回目の相関図(行移形式)

最大文字サイズの重回帰式を得る可能性を検討するために、最大文字サイズを目的変数とし、説明変数を臨界文字サイズ、logMAR 視力、視野狭窄、中心暗転、夜盲、眼球振盪、白濁、固定形式、行移形式、一行形式、切片形式とした。目的変数の最大文字サイズの単位は文字の高さ(mm)とした。視野狭窄、中心暗転、夜盲、眼球振盪、白濁、固定形式、行移形式、一行形式、切片形式は、コーディングして検討した。

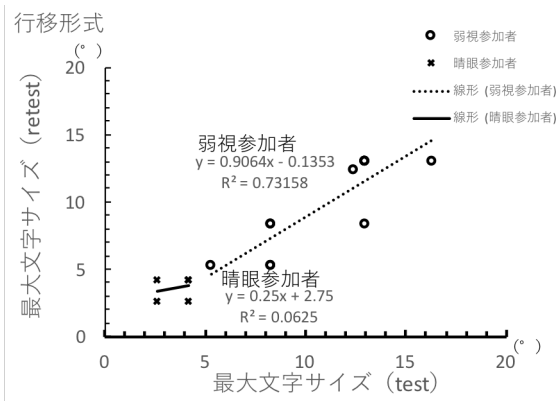


Fig. 3-6 最大文字サイズの1回目と2回目の相関図(一行形式)

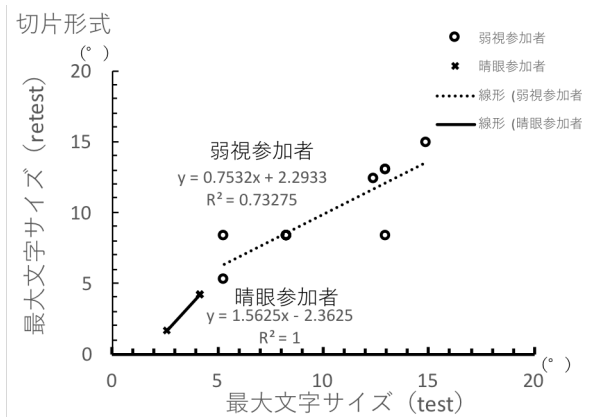


Fig. 3-7 最大文字サイズの1回目と2回目の相関図(切片形式)

重回帰分析は、ステップワイズ法(増減法)を用いて行われた。ステップワイズ法では、AIC(Akaike's Information Criterion)を基準に、AIC が最小になる回帰式を求めた。ステップワイズ法の結果、説明変数を臨界文字サイズ、中心暗転、白濁、固定形式を投入した際に、AIC が最小になったため、この4つの変数を説明変数とした重回帰分析を実施した。その結果を、Table 3-1 に示した($F(4, 43) = 15.68, p = .000$)。Table 3-2-6 より得られた回帰式は、以下のとおりであった。

$$\text{最大文字サイズ} = 2.288 \times \text{CPS} + 4.848 \times \text{N} - 4.007 \times \text{B} - 2.864 \times \text{F} + 17.663$$

最大文字サイズの単位は、文字の高さ(mm)

CPS: 臨界文字サイズ(単位)を1mmとしたときの値

N: 眼球振盪あり 1, 眼球振盪なし 0

B: 白濁あり 1, 白濁なし 0

F: 固定形式 1, 固定形式以外 0

Table 3-1 最大文字サイズを目的変数とする重回帰分析の結果

	係数	標準化係数 β	標準誤差	t	p	VIF
残差	17.663	0.000	1.806	9.782	0.000	
臨界文字サイズ	2.288	0.624	0.380	6.017	0.000	1.322
眼球振盪	4.848	0.256	2.239	2.165	0.036	1.308
白濁	-4.007	-0.212	2.237	-1.792	0.080	1.028
固定形式	-2.864	-0.139	2.024	-1.415	0.164	1.000

決定係数 R^2 : .585

調整済みの決定係数 R^2 : .546

VIF: Variance Inflation Factor

第4節 考察

最大文字サイズの単位を文字の縦の長さ(高さ)で検討した。その結果、参加者要因と表示形式要因の交互作用が有意であった。Fig. 3-3 に示したとおり、弱視参加者においては表示形式要因が最大文字サイズに及ぼす効果は有意ではなく、晴眼参加者においては、行移・一行・切片>固定が有意であった。晴眼参加者は文字サイズが 2.1mm から 36.6mm の間で読速度を測定できたため、固定形式の最大文字サイズが 7mm~8mm 程度の範囲で収まるが、弱視参加者は最小の文字サイズが 5.6mm, 8.7mm, 13.9mm であった。弱視参加者は、固定形式において、行幅が画面の幅を超えて表示され、バックスクロール操作を行ったり、改行の眼球運動(Walker, 2013; 苧坂, 1998)を要する条件で読速度を測定されることになり、氏間(2017)が確認した、「画面幅 \geq 行幅」条件で固定形式の読速度を測定していない。よって、最大文字サイズが晴眼参加者よりも弱視参加者で拡大した。この最大文字サイズの拡大は、固定形式での有意であった、弱視参加者>晴眼参加者の単純主効果においても確認できる。一方、その他の表示形式では、晴眼参加者と弱視参加者の間で最大文字サイズの大小関係は有意でなかった。この結果は、網膜像のサイズを臨界文字サイズ以上にしておきさえすれば、行移形式、一行形式、切片形式においては、最大文字サイズは操作性に依存することを示す結果である。

試行回要因は、最大文字サイズの単位が視角と長さの両方で有意差がみられなかった。最大文字サイズに対する学習効果は統計的に有意差が認められない程度の小ささであるといえる。この点で、本研究と採用した手続きと Mansfield et al., (1996), 氏間ら(2007)のアルゴリズムを用いた最大文字サイズの推定法は一定の信頼性があるといえよう。

相関は最大文字サイズの test-retest の比較であるため、単位の影響はないため、視角(度)の最大文字サイズで比較した。弱視参加者の相関係数は 0.85 を超える強い相関が得られる結果であった。弱視参加者の最大読書速度の相関も 0.86 以上で強い相関が示された。弱視参加者の最大文字サイズ及び最大読書速度については信頼性が高いことが確認された。

晴眼参加者の最大文字サイズでは固定形式と切片形式の相関係数が強く、行移形式と一行形式では有意な相関関係がみられなかった。固定形式は画面幅を行長が超えると往復の横スクロールが必要となり、操作性により最も小さいサイズで読速度が低下する(氏間, 2017)。また、切片形式は Fine and Peli (1995)は、RSVP が横スクロールより遅いことを示しており、氏間(2017)は、切片形式が最も遅かったことを報告している。このように最大文字サイズが操作性のシーリングを受けるため、学習効果などの試行回要因の効果が現れにくかったため相関係数を押し上げたと考えられる。一方、行移形式と一行形式で中程度以下の相関であったことは、学習効果がみられ、さらにその効果には個人差が大きかったことを示している。

デジタル・リーディングの最大文字サイズを何らかの変数であらかじめ予測できると、教育などでの環境設定に大きく貢献できる。そこで、予測式を作成する可能性を探るために、重回帰分析を行った。ここでは最大文字サイズを目的変数にするが、その単位は文字の高さにした。前述した通り、操作性が最大文字サイズに影響を与え、その操作性は画面のサイズと文字のサイズ(高さ)に依存することが明らかになったためである。

その結果、調整済みの決定係数が、0.546 で、

$$\text{最大文字サイズ} = 2.288 \times \text{CPS} + 4.848 \times \text{N} - 4.007 \times \text{B} - 2.864 \times \text{F} + 17.663$$

の式を導くことができた。最大文字サイズは、臨界文字サイズと眼球振盪の有無、白濁の有無、そして表示形式から固定形式かどうかで説明できることが明らかになった。ただし、決定係数が 0.5 程度であるため、その他の要因で説明できることも多いため、この予測式は今後の研究への参考としてとどめておくことが適当であろう。

当事者を対象にした本研究において、以下のことが明らかになった。

- ・ 最大文字サイズを検討する場合は、操作性の影響が強いことから、視角よりも、文字の高さの長さなど表示サイズで検討することが適当である。
- ・ 最大文字サイズ(高さの長さ)は弱視者においては表示形式の差はみられないが、晴眼者においては、固定形式が最も小さい。また、固定形式では晴眼者よりも弱視者で大きくなるが、その他の形式では有意差がみられない。
- ・ 2回にわたる最大文字サイズの測定の結果、弱視者においては、強い相関がみられたことから、今回用いた最大文字サイズの算出法に基づく最大文字サイズは再現性が高い。
- ・ 最大文字サイズ(高さの長さ)は、臨界文字サイズ、眼球振盪の有無、混濁の有無、表示形式かどうかによって、55%が説明できる。

第3章 総合考察

第6研究において、晴眼参加者を対象にした最大文字サイズを検討した結果、Mansfield et al. (1996) 及び氏間ら(2007)のアルゴリズムを用いて最大文字サイズを算出することが可能であることが明らかとなった。それに基づき、第7研究において、晴眼参加者と弱視参加者を対象に最大文字サイズの推定を行なった。その結果、晴眼者においては、最大文字サイズは他の3つの表示形式と比較して、固定形式が最も小さくなることが一貫した結果といえる。弱視の場合は、4つの表示形式の間に有意な差はみられなかった。この点は、弱視者のデジタル・リーディングの表示環境を整備する際に注意を要する点であろう。

第6研究では晴眼参加者の1回の実験結果で最大文字サイズを検討したが、第7研究では test-retest 法を用いて、最大文字サイズの信頼性を検討した。その結果は、第6章に前述したとおりであるが、第6研究では明らかにできなかった、学習効果について第7研究でその効果はないか、あったとしても限定的であることが明らかとなった。特に最大文字サイズの学習効果について、弱視者ではとても小さく、晴眼者においては行移形式、一行形式でその効果がみられやすいことが考えられた。

第6研究及び第7研究では、晴眼参加者により最大文字サイズの推定可能性を確認し、弱視参加者において特にその信頼性が高いことが確認できた。このことから、教育においてデジタル・リーディングを実施する際、最大文字サイズを事前に推定しておくことで、デジタル教科書などのデジタル・リーディングの表示環境の提案が可能になると考えられる。また、その際、高速読者においては、行移形式を進めることや、予測式から、臨界文字サイズが大きいほど、眼球振盪がある場合は最大文字サイズが大きい傾向にあることが確認できたことから、教師が弱視者に対して助言する際の一助になると考えられる。

第4部 総合考察と今後の課題

第1章 総合考察

第1節 弱視者におけるデジタル・リーディング表示環境の推定法

第1部では、表示形式と文字サイズ以外の要因をできる限り排除するために、1つの文章を何度か事前に読書させ、読速度が飽和(saturation)したところで、実験を開始した。第1研究では固定形式が文字の拡大に対して最も敏感に読速度の低下が生じた。第2研究では擬似視野狭窄状態、第3研究では擬似低視力で実験を行なった。文字が大きいと擬似視野狭窄が読速度に抑制的に作用し、文字が小さいと擬似低視力が読速度に抑制的に作用することが明らかとなり、晴眼者と弱視者とは読書環境が読速度に及ぼす影響が異なることを明らかにした。

第2部では、文字サイズの幅を第1部よりも広げて7段階で実験を実施した。また、より実際の読書に近い状態で確認するために、読材料を条件毎に変えて読速度を測定した。第4研究では、第1研究と同じ結果を確認したとともに、固定形式、一行形式、行移、切片形式の順に文字の拡大に対して敏感であることを明らかにした。第1研究と第4研究との結果が定性的に一貫していたことから、飽和状態で読速度を測定する方法と、初見による読速度の測定とでは、本研究においては影響がないことが確認された。第5研究では7名の弱視参加者の結果を第4研究と比較した。その結果、低速読書や眼球振盪など弱視参加者特有の要因が読速度に影響し、そのことは文字サイズの多重比較で晴眼者の結果との一致率が0%であったことから支持された。しかし、表示形式が読速度に及ぼす影響は晴眼者、弱視者の別なく一定の安定した効果であることが確認できた。このことから、弱視者の場合は、個別的な読書環境を推定する必要性が認められた。

第3部では、弱視者の個別性に応じた読書に適した文字サイズを表示形式別に検討する方法を検討するために、Mansfield et al., (1996)と氏間ら(2007)の最大文字サイズ、最大読書速度を推定するアルゴリズムの適用可能性について検討した。第6研究では23名の晴眼参加者を対象にして、最大文字サイズの算出が可能であった。第7研究では、12名の弱視参加者において最大文字サイズを推定した。test - retest 法による信頼性の検討では、弱視参加者の最大文字サイズは有意な強い相関がみられた。さらに、最大文字サイズの予測式を求めた結果、55%の説明率を得た。最大文字サイズの説明変数としては臨界文字サイズ、眼球振盪、混濁、固定形式であった。第3研究では混濁状態で文字サイズが小さいと読速度に抑制的な影響があった。第1研究と第4研究、第6研究では固定形式が最も文字サイズの拡大に敏感に読速度が低下した。第5研究では眼球振盪が読速度に影響を与えることが示唆された。これらの結果が、予測式に反映されたといえよう。

第2節 デジタル教科書における導入について

本研究は、見え方に困難のある弱視者の個別性に応じて、例えば、デジタル教科書やデジタル書籍の読書環境設定に貢献することができる。弱視者の視覚特性に応じた支援法については様々な方法がある(Jonathan, & James, 2007)。デジタル・リーディングをはじめて授業実践に導入したのは、パソコンによる、各種表示パラメータをカスタマイズできるシステムを利用した、佐藤・中野(1993)であろう。現在では、タブレットの普及に伴い、加茂・氏間(2017)のように ePub による環境設定や、町田・氏間(2017)のように PDF や HTML 形式の併用による環境設定と普及が進んでいる。

国策としてデジタル教科書を牽引しているのが、韓国と米国であろう。米国では、2004年のIDEA (Individuals with Disabilities Education Act)の改正により、特に印刷された文字へのアクセスに困難のある学習者のために、小学校から高等学校までの教科書を発行している、教科書発行者には、教科書デジタルデータを全国教材アクセスセンター規格(National Instructional Materials Accessibility Standard : NIMAS)のファイル形式で、全国教材アクセスセンター(NIMAC)に提供することを求めた。この改正により、NIMASを採用している州では、教科書発行者が提供する教科書デジタルデータを利用することができ、学習者は無料でそのデータを入手することができるようになった。韓国は2013年の導入を目指してデジタル教科書の導入を目指していた。韓国の教科書は国定教科書であるため、教科書デジタルデータのコンテンツ開発は韓国教育学術情報院(Korea Education and Research Information Service : KERIS)が担当している。KERIS(2016)によると、2015年の改定カリキュラムに基づくデジタル教科書の一覧を発表し、2018年に小学校3年生と4年生、中学校1年生に適用され、2015年改訂カリキュラムに沿って徐々に拡大される。それらは紙の教科書と共に使用されるようだ。デジタル教科書は「具体的かつ容易に利用できる教科書」、「学習者中心の段階的学習のための教科書」、「高度なマルチメディアを用いた補強された教科書」の開発を目指しているとのことである。

日本のデジタル教科書については、「デジタル教科書」の位置付けに関する検討会議(最終まとめ)において、デジタル教科書は、紙の教科書と学習内容が同一であること、紙の教科書との併用、そして、障害のある児童生徒のうち、デジタル教科書の使用による学習が効果的である者に対してより積極的にしようすることなどが提起された(「デジタル教科書」の位置付けに関する検討会議, 2016)。現在、障害のある児童生徒用としては、マルチメディア DAISY, EPUB, MP3, PDF+HTMLの4種類でデータ供給が行われている。

本研究はNIMAS形式、マルチメディア形式、EPUB形式、PDF + HTML形式のデジタル教科書について、適用できる可能性がある。PDF形式は固定形式にあたるため、画面幅に行長が収まる程度から行長が画面幅の1.6倍程度までの文字サイズで読書可能な弱視者であれば、固定形式であっても、読速度を落とすことなく読書できる(第1研究)。それ以上の文字サイズを必要とする場合は、行移形式が最善ということになる。しかし、視野の状況や眼球振盪の状況によっては、切片形式や一行形式の利得が大きいことも考えられる(第5研究)。どこまで拡大しても読速度を下げずに読書できるのかを検討するためには、それぞれの表示形式で最大文字サイズを推定すると良いことになる(第7研究)。

第2章 今後の課題

1 学習効果

普段の臨床の様子から、弱視の生徒たちは、固定形式をととても器用に扱って読んでいる様子を見ることを経験する。高速読者と低速読者がおり、高速読者の方が表示形式の違いによる利得を得やすいことは知られている(Fine & Peli, 1995; Aries, 1999)ことから、デジタル・リーディングでの読書スキルを身につけると、より、表示形式の特性からもたらされる利得を得やすくなることが考えられる。そのため、デジタル・リーディング操作の学習効果について確認することは有意義である

と考えられる。

2 推定法の整備

今後、今回用いた推定法を普及させるためには、より手軽に評価できる方法を検討する必要がある。特に、デジタル教科書の普及がこれから進められるため、より簡便な手続きで最大文字サイズを推定できる方法の研究を進めていきたい。

3 表示方法個別の特性

本研究では、これまでにはなかった表示形式の比較を行うために、個々の表示形式の設定は統一されていた。しかし、表示形式個別の特性をより明らかにするために、条件をさらに増やして検討し、読書環境の定量的な研究を行うことでデジタル・リーディングの学術的な研究が深化される。

4 当事者研究の継続

弱視者の読書の研究には病院で行われる後ろ向き研究などを除き、サンプル数が数名から十数名のものが多くみられる(例えば, Legge et al., 1985b; Rubin & Turano, 1994; Beckman, & Legge, 1996)。本研究においても、第5研究で7名、第7研究では12名の参加者数であった。本研究ではこのサンプル数で十分と考えるが、今後、縦断的検討や、予測式の完成度を高めるなどの研究を進めるにあたっては、引き続き当事者を参加者にした研究を継続する必要がある。

弱視者が弱視教育の中で独自の教育をスタートさせて80年が経つ。特に教科書においては、平成に入ってから弱視者用拡大教科書が発行される事態であった。そんな中、教科書バリアフリー法が成立し、教科書デジタルデータの提供が始まり、ついでデジタル教科書の議論に一段落がついた。弱視者がそれぞれの見え方に応じた読書環境を手軽に手に入れられるようにするために、また指導者は弱視者の視覚特性に応じた読書環境を具体的に提案することができるように、デジタル・リーディングのエビデンスの確立と、活用システム作りがこれからのテーマになると考えている。

III. 参考文献（本資料分）

- 「デジタル教科書」の位置付けに関する検討会議 (2016) 「デジタル教科書」の位置付けに関する検討会議 最終まとめ.
- Aries A., (1999) Elicited sequential presentation for low vision reading. *Vision Research*, 39(26), 4412-4418.
- Beckman, J. P. & Legge, E. G., (1996) PSYCHOPHYSICS OF READING: XIV. THE PAGE NAVIGATION PROBLEM IN USING MAGNIFIERS. *Vision Research*, 36(22), 3723 - 3733.
- Fine E. M. & Peli E. (1995) Scrolled and Rapid Serial Visual Presentation Texts Are Read at Similar Rates by the Visually Impaired. *Journal of the Optical Society of America*, 12 (10), 2286-2292.
- Gilbert. L. C. (1959) Speed of processing visual stimuli and its relation to reading. *Journal of Educational Psychology*, 55, 8 - 14.
- 石川大・中野泰志 (1993) 読書に及ぼす視野の広さの影響. 日本特殊教育学会第 31 回大会発表論文集, 80 - 81.
- Jonathan, J., & James, S. W. (2007) *Low Vision Manual*, Elsevier Limited, USA.
- 加茂沙都子・氏間和仁 (2017) 教材提示法による弱視者の授業参加への影響について. *弱視教育*, 55(2), 1-11.
- 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, 957 - 962.
- KERIS (2016) WHITE PAPER ON ICT EDUCATION IN KOREA.
- 窪田悟・伊藤瑞穂・岡田想・小田泰久 (2003) 横スクロール文字の可読性. *映像情報メディア学会誌*, 57, 1595 - 1597.
- Bailey, I. L. , Lueck, A. H., Greer, R. B., Tuan, K. M., Bailey, V. M., and Dornbusch, H. G., (2003) Understanding the Relationships Between Print Size and Reading in Low Vision. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 97, 325 - 334.
- Legge, G. E., Parish, D. H., Luebker, A., & Wurm, L. H. (1990) Psychophysics of reading XI. Comparing color contrast and luminance contrast. *Journal of the Optical Society of America*, 7(10), 2002 - 2009.
- Legge, G. E., Pelli, D. G., Rubin, G. S., & Schelske, M. M., (1985a) PSYCHOPHYSICS OF READING: I. NORMAL VISION. *Vision Research*, 25(2), 239 - 252.
- Legge, G. E., Ross, J. A., Luebker, A., & Lamay, J., (1989) PSYCHOPHYSICS OF READING: VIII. THE MINNESOTA LOW-VISION READING TEST. *Optometry and Vision Science*, 66, 843- 853.
- Legge, G. E., Rubin, G. S., Pelli, D. G., & Schelske M. M., (1985b) PSYCHOPHYSICS OF READING: II. LOW VISION. *Vision Research*, 25(2), 253 - 266.
- 町田光翼・氏間和仁 (2017) 教材提示法による弱視者の授業参加への影響について. 第 58 回弱視教育研究全国大会抄録集, 22-23.
- Mansfield, J. S., Legge, G. E., & Bane, M. C., (1996) PSYCHOPHYSICS OF READING XV. FONT EFFECTS IN NORMAL AND LOW VISION. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 37(8), 1492-1501.
- 文部科学省 (2016) 平成 28 年度 文部科学白書
- 中野泰志 (2011) 高等学校段階における弱視生徒用拡大教科書の在り方に関する調査研究成果報告書.
- 中野泰志 (2014) タブレット端末は拡大教科書の代わりになるか. *弱視教育*, 52(3), 12 - 20.
- 中野泰志・菊地智明・中野喜美子・石川大 (1993) 「弱視用読書効率測定システムの試作(2) - 読材料の生成方法について -」, 『第 2 回視覚障害リハビリテーション研究発表大会論文集』, 46-49.
- 中野泰志・氏間和仁・田中良広・韓星民・永井伸幸 (2016) ロービジョンの生徒のための教科書閲覧アプリの開発(1) -iBooks より視認性や操作性を向上させた新しい iPad アプリの試作とユーザ評価-. *日本ロービジョン学会誌*, 16, 65-75.
- 西脇友紀・田中恵津子・小田浩一・岡田アナベルあや・樋田哲夫・藤原隆明 (2001) ロービジョンケアに適した QOL 評価票の試作. *臨床眼科*, 55, 1295-1300.
- 小田浩一 (2000) ロービジョンの定義と分類. 日本視覚学会(編), *視覚情報処理ハンドブック*. 朝倉書店, 546 - 547.
- 小田浩一 (2001) 視覚障害とエイド, *心理学評論*, 44, 177-190.
- Osaka N. (1992) Size of saccade and fixation duration of eye movements during Japanese text reading : Psychophysics of Japanese text processing. *Journal of the Optical Society of America*, 9, 5 - 13.
- Osaka, N., & Oda, K. (1991) Effective visual field size necessary for vertical reading during Japanese text processing. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 29, 345 - 347.
- 荻坂直之 (1998) 1. 日本語の読みと眼球運動. *読み-脳と心の情報処理-*(荻坂直之編著), 朝倉書店.
- Rubin, G. S. & Turano, K. (1992) Reading without saccadic eye movements. *Vision Research*. 32, 895 - 902.
- 佐藤守・中野泰志 (1993) パソコンを利用した読みの指導. *弱視教育*, 31(1), 7 - 13.

- Sloan, L. L. & Brown, D. J., (1963) Reading cards for selection of optical aids for the partially sighted. *American Journal of Ophthalmology*, 55, 1187 - 1199.
- 氏間和仁 (2010) ロービジョンの読みに適した文字サイズの選択について－MNREADとその周辺の研究－. 特殊教育学研究, 48(4), 323 - 331.
- 氏間和仁 (2017) デジタル・リーディングにおける読速度:表示形式と文字サイズの効果. 読書科学, 59(1), 24-32.
- 氏間和仁・村田健史 (2000) 弱視者に配慮したHTML教材とビューアの試作と評価. 教育システム情報学会誌, 17 (3), 415 - 424.
- 氏間和仁・島田博祐・小田浩一 (2007) 大型電子化提示教材で使用するロービジョンに適した文字サイズの規定法－読書評価チャートの応用－. 特殊教育学研究, 45(1), 1 - 12.
- Walker R., (2013) An iPad app as low-vision aid for people with macular disease. *British Journal of Ophthalmology*, 97, 110 - 112.