

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K04560

研究課題名(和文) コンピュータモニタに提示される表示形態と視覚特性が弱視者の読書効率に与える影響

研究課題名(英文) The effect of display style and visual conditions on reading performance in computer based reading

研究代表者

氏間 和仁 (ujima, kazuhito)

広島大学・教育学研究科・准教授

研究者番号：80432821

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：晴眼者対象に文字サイズ4段階で、表示形式・文字サイズが読速度に与える影響を実験的に調べ、固定形式が文字サイズの拡大に伴い最も小さいサイズで読速度が低下した。擬似状態と一貫性がなかった。文字サイズ7段階で、同手続きで実験し、全ての表示形式で読速度低下を確認した。弱視者の読速度の多重比較結果と比較し、表示形式の大小関係の一致率は81%、文字サイズは0%であった(第5研究)。同環境で晴眼者の最大文字サイズを算出した結果、先行実験の多重比較と同結果となり、Mansfieldのアルゴリズムの適用可能性を示した(第6研究)。弱視者を対象にtest-retest法により十分な信頼性が保たれた。

研究成果の概要(英文)：Experimentally investigated the effect of display format and character size on reading speed in participants with normal vision with 4 font sizes, and the reading speed decreased with the fixed format with the smallest size as the font size increased. It was inconsistent with the pseudo-state. We experimented with the same procedure at 7 font sizes, and confirmed the decline in reading speed in all display formats. Compared with the multiple comparison result of the reading speed of the low vision, the coincidence ratio of the magnitude relation of the display format was 81% and the character size was 0%. As a result of computing the maximum font sizes of participants with normal vision in the same environment, it was the same result as multiple comparison of previous experiments and showed applicability of Mansfield's algorithm. Sufficient reliability was maintained by the test-retest method for people with low vision.

研究分野：視覚障害教育

キーワード：社会学 教育学 特別支援教育 視覚障害教育 支援技術

## 1. 研究開始当初の背景

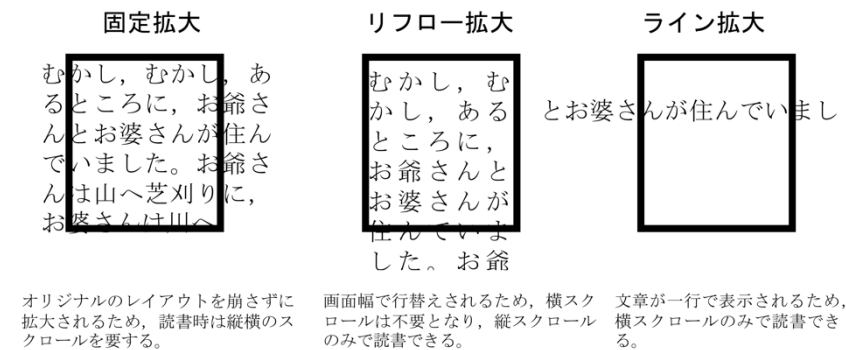
弱視(low-vision)は、医学的な治療や屈折矯正を施してもなお読書や書字、歩行、料理等に困難をきたす視機能障害が継続している状態をいう。ここでの視機能障害は様々であるが、特に視力と視野が与える影響は大きい。弱視者の視覚特性と読材料の環境設定が読書能力に及ぼす影響については、例えば、読書環境と読書に適した文字サイズの関係について、G. E. Legge, G. S. Rubin, D. G. Pelli, and M. M. Schleske (1985) は、図1に示したような回帰式を導出している。

$\log S = -0.06 + 1.31 \log M \text{ w/b}$   
 And  
 $\log S = -0.02 + 1.18 \log M \text{ b/w}$

S: 最適文字サイズ  
 M w/b: 黒背景に白文字の M 視力  
 M b/w: 白背景に黒文字の M 視力

図1 最適文字サイズの回帰式

これは、背景を白・文字を黒にした場合とその逆にした場合の最適文字サイズの回帰式として利用でき、読書材の環境設定により得られた視力が説明変数となっている。この研究のように、実験心理学的手法を用いて組織的に独立変数を操作した研究は近年、積極的に行われるようになってきた。本邦においても、中学生以上の弱視者を実験参加者として、最大読書速度には近見視力の説明率が 31.5%で、臨界文字サイズには近見視力と読書視力の説明率が 93.3%で有意に影響していたことを明らかにした研究(武内・柿澤, 2008)や、白濁状態では、視知覚できる文字サイズは、漢字の複雑さと漢字の線幅によって規定されることを明らかにした研究(氏間, 2008)などをはじめ、多くの研究が行われてきている。しかし、これらの研究は紙媒体が前提となっており、近年、普及し、教育でも利用されている、ディスプレイに文章を提示して読書を行う、デジタルリーディング環境での検討は十分にされていない。



黒線の枠がディスプレイであり、その中にある文字が表示されている。

図2 デジタル読書での拡大法

デジタルリーディングにおいて拡大表示する際、限られた画面において拡大を行う特性上、PDF形式ファイルの読書時のようにレイアウトが固定され単純に引き伸ばされる固定拡大、ePubやHTMLのように画面幅で行を折り返すリフロー拡大、一部の拡大読書器で採用されている行替えを一切行わずに一直線で表示するライン拡大の3つの表示形態が考えられる(図3)。これまでリフロー拡大とストレッチアウト拡大を比較して、リフロー拡大の読書速度が有意に速いことを明らかにした研究(氏間, 2000)や加齢黄斑変性患者においてリニア拡大の読書効率が高いことを示した研究(Walker Robin, 2013)などがみられる。しかし、読書速度は画面の文字サイズ・画面サイズ・行長などのレイアウトの要因と視野狭窄・視力等の視覚特性の要因が相互に影響して規定されるが、それらの条件を組織的に操作してデジタル読書の表示形態の効果を検討した研究はみあたらない。

## 2. 研究の目的

そこで、本研究では、以上3つの表示形式に定位置で一定数の文字を切り出して表示する切片形式を加えた4つの表示形式と文字サイズが読速度に及ぼす影響を、晴眼者、晴眼者による弱視シミュレーション、弱視当事者の実験参加者を対象に実施し、明らかにし、デジタルリーディングの各表示形式で読書に適した文字サイズの推定方法を提案することを目的とした。

## 3. 研究の方法

1年目は、文字サイズを0.7°~2.6°(0.2logUNIT)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、2年目・3年目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) と目の距離は 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「experead」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着し、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<sub>sim</sub> はシミュレーションありの読

速度、RS<sub>non</sub> 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。

2 年目は、1 年目の実験装置を用いて、文字サイズの幅を、視角 0.4° ~ 6.6° (0.2 logUNIT, 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 (7 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)。

3 年目は、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。

## 4. 研究成果

### 1 年目

#### 第 1 研究

各要因の効果を明らかにするために、各要因の主効果を検討した。結果のグラフを図 3 に示した。表示形式の主効果は有意であり ( $p=0.000$ ,  $\eta^2=0.183$ )、文字サイズの主効果は有意ではなかった ( $p=0.124$ ,  $\eta^2=0.012$ )。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 ( $p=0.000$ ,  $\eta^2=0.049$ )。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 ( $p < 0.05$ )。

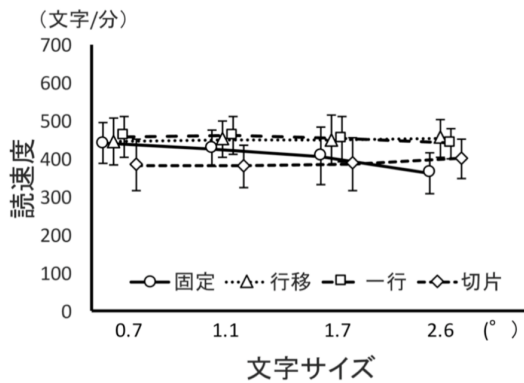


図3 読速度の結果

文字サイズ  $0.7^\circ$ 、 $1.1^\circ$ 、 $1.7^\circ$ 、 $2.6^\circ$  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  $0.7^\circ$  (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研究

視野狭窄シミュレーションの実験から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  $5^\circ$  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  $1.1^\circ$  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  $2.6^\circ$  からである。

### 第3研究

白濁シミュレーションの実験から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  $25\text{pt}$  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  $18\text{pt}$ 、 $25\text{pt}$  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  $18\text{pt}$  である。

## 2年目

### 第4研究

結果を図4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 ( $p = .000$ 、 $\eta^2 = .698$ )。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、 $1.1^\circ$  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、 $6.6^\circ$  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、 $2.6^\circ$  以上のサイズで、

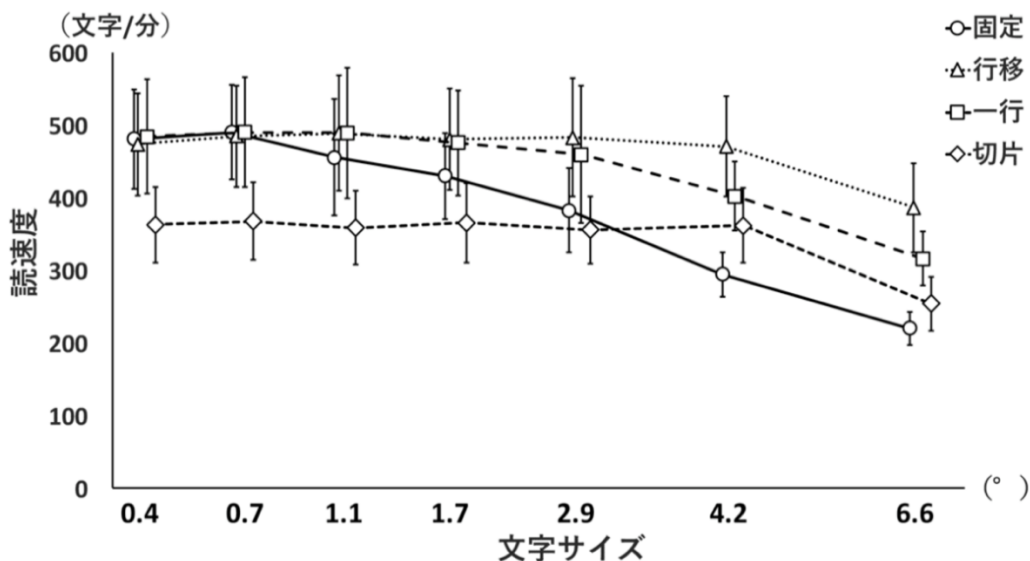


図4 晴眼参加者の文字サイズ及び表示形式が読速度に及ぼす影響

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5研究

弱視当事者を対象にした実験からは、以下のことが明らかとなった。

本研究から、以下の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。

## 3年目

### 第6研究

以下のようなことが明らかとなった。

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図5に示した。スティール・ドゥワス (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)。

最大読書速度を参加者毎に算出した。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)。

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

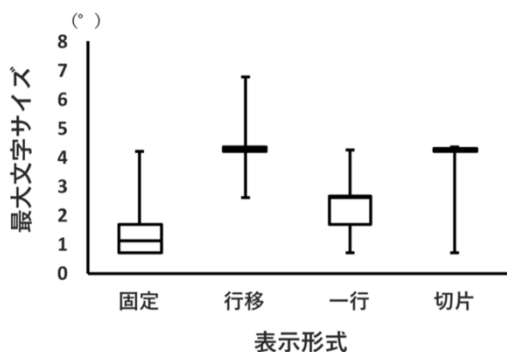


図5 表示形式における最大文字サイズ

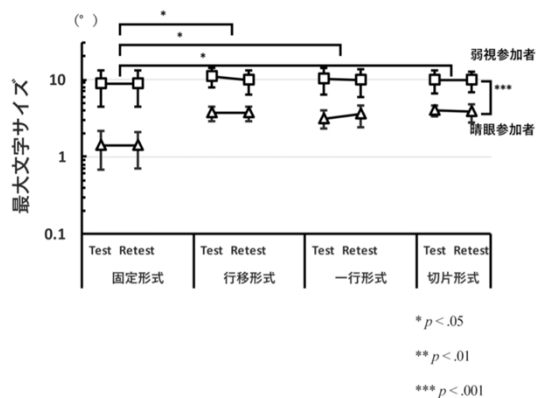


図6 最大文字サイズの結果 (単位: mm)

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7研究

最大文字の大きさを、文字の高さ (単位: mm) で計算した結果について示した (図6)。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なかった ( $p = .507, \eta_p^2 = .047$ )。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 ( $p = .009, \eta_p^2 = .212$ )。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 ( $p = .143, \eta_p^2 = .129$ )。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 ( $p = .678, \eta_p^2 = .031$ )。

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。

## 引用文献

- K. Gill, A. Mao, A. M. Powell, and T. Sheidow (2013) Digital reader vs print media: the role of digital technology in reading accuracy in age-related macular degeneration. *Eye*, 27(5), 639-643.
- G. E. Legge, G. S. Rubin, D. G. Pelli, and M. M. Schleske (1985) PSYCHOPHYSICS OF READING II LOW VISION. *Vision Research*, 25(2), 253-266.
- 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.
- 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.
- 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.
- 武内栄希・柿澤敏文 (2008) 弱視者の最大読書速度と臨界文字サイズに及ぼす近距離視力・最大視認力・読書視力の影響. *障害科学研究*, 32, 73-81
- 氏間和仁 (2000) ロービジョンの HTML 教材利用に関する研究. 平成 11 年度国立特殊教育総合研究所長期研修成果報告書.
- 氏間和仁 (2008) 文字構造の複雑さが視知覚しやすい線幅に及ぼす影響―白濁フィルタを用いたロービジョンシミュレーションによる検討―. *福岡教育大学紀要*, 57(第4分冊), 101-108.
- 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 Robin (2013) An iPad app as a low-vision aid for people with macular disease. *British Journal of Ophthalmology*. 97(1), 110-112.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 氏間和仁, 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*, 査読有, 2017, 59, 24-32.
- ② 氏間和仁, デジタル・リーディングにお

ける表示形式が読速度に及ぼす影響―視野狭窄シミュレーションの影響について―. *日本ロービジョン学会誌*, 査読有, 16, 2016, 24-32.

[学会発表] (計 6 件)

- ① 氏間和仁 (2017) 弱視者のデジタル・リーディング環境に関する研究. 日本特殊教育学会第 55 回大会 in AICHI, P1-5.
- ② 氏間和仁 (2017) デジタルリーディング固定表示におけるロービジョン者の特性. 第 18 回日本ロービジョン学会学術総会・プログラム・抄録集, 110.
- ③ Suzuki Mao, Ujima Kazuhito (2017) Effects of moving window and notation system for fractions on computational speed. VISION2017 -the 12th International Conference by the International Society for Low Vision Research and Rehabilitation (ISLRR) -, P082. Sunday 25 June 2017- Thursday 29 June 2017, Hague, Netherlands.
- ④ Ujima Kazuhito (2017) Effect of display style for digital reading on maximum print size, VISION2017 -the 12th International Conference by the International Society for Low Vision Research and Rehabilitation (ISLRR) -, P049. Sunday 25 June 2017- Thursday 29 June 2017, Hague, Netherlands.
- ⑤ 氏間和仁 (2016) デジタルリーディングの基礎的研究-表示形式と文字サイズが読書速度に与える影響-. 日本教育心理学会第 58 回総会・プログラム, p638.
- ⑥ 氏間和仁 (2016) デジタルリーディングにおける表示が読書速度に及ぼす影響-晴眼者と RP 当事者の実験より-. 第 17 回日本ロービジョン学会学術総会プログラム・抄録集, p85.

[図書] (計 0 件)

なし

[産業財産権]

なし

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

[http://home.hiroshima-](http://home.hiroshima-u.ac.jp/ujima/src/achievements01.html)

[u.ac.jp/ujima/src/achievements01.html](http://home.hiroshima-u.ac.jp/ujima/src/achievements01.html)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

氏間和仁 (UJIMA Kazuhito)

広島大学・大学院教育学研究科・准教授  
研究者番号: 80432821

(2) 研究分担者

なし