

低視力シミュレーション下でのデジタル・リーディングの 表示形式が読速度に及ぼす影響

氏間 和仁・今津 麻衣

【特別支援教育実践センター研究紀要】 第20号 別刷

広島大学大学院人間社会科学研究科附属特別支援教育実践センター

The Bulletin of the Center for Special Needs Education Research and Practice No.20
Graduate School of Humanities and Social Sciences, Hiroshima University
March 2022

<原 著>

低視力シミュレーション下でのデジタル・リーディングの 表示形式が読速度に及ぼす影響

氏間 和仁^{*}・今津 麻衣^{**}

ディスプレイ上に表示される文章を読むことをデジタル・リーディングとした。デジタル・リーディングにおいて文章を画面に表示する方法には、固定形式・行移形式・一行形式・切片形式が考えられる。これらの表示形式が読書速度に及ぼす影響を低視力シミュレーションにより検討した。本実験の実験協力者は健常大学生16名であった。表示形式と文字サイズの2要因の要因計画法であった。従属変数は読書速度であった。低視力シミュレーション「あり」と「なし」の両条件で有意な交互作用がみられた。両条件で切片形式よりも行移形式及び一行形式が速かった。シミュレーション「なし」では固定形式における文字サイズの単純主効果が見られた。シミュレーション「あり」条件では、行移・一行・切片形式条件で文字サイズの単純主効果がみられた。

キーワード：読書速度 デジタル・リーディング 低視力 シミュレーション

I. はじめに

近年、デジタル化された教科書・書籍・論文等が普及してきた。日本の国会図書館で蔵書のデジタル化が行われたことでも、その社会的広がりをうかがい知ることができる。本研究で、デジタル・リーディングは、「コンピュータ等のデジタル技術によって表示された文字を読むことで、インク等で印刷された文字が書かれた用紙等の媒体を取り替えながら読むのではなく、表示する媒体を取り替えずに、文字を電子的に取り替えながら読むこと。」とする。デジタル・リーディングの社会への普及は、スマートフォンやタブレット端末といった携帯型コンピュータの普及によるところも大きいと考えられる。携帯端末は単に健常者にとって利得があるだけでなく、弱視のある人（以下、弱視者）にとっても、次世代の視覚補助具の有望な選択肢の一つとしてもその利得が目され、実践の中で利用されている（Lockyer et al., 2005; Crossland et al., 2010）。弱視者の見え方は千差万別であるため、デジタル・リーディングは、その多様な視覚特性に最適化された表示を可能にする手段として有望であり、弱視者の読書手段として、デジタル・リーディングは親和性が高

いと言える。Wilmer low-vision clinic では患者の64%において読書の困難が主なニーズであることと、その他の各活動に対するニーズは患者の8%未満であることを指摘していることから、弱視者の読書に対するニーズは高く、デジタル・リーディングの果たす役割は大きい。

弱視者を対象に、読速度と、指定されたページへの到達時間を、紙とHTML (Hyper Text Markup Language) 形式との間で比較した実験によれば、読書速度においてHTML形式は紙に比べ同等で、到達時間は速かったことが報告されている（氏間・村田, 2000）。HTML形式とPDF形式で読書速度を比較した実験によれば、拡大率が高い実験協力者においてPDF形式よりもHTML形式の方が、読書速度が速くなることが報告されている（氏間, 2000）。これは、紙及びHTML形式は紙や画面の一定の幅で行を折り返す行移形式（Reflow Form）で表示されるため、画面上で横のスクロールを要しないため、紙とHTMLの違いが読書速度に与える影響が生じなかったと考えられる。一方、PDF形式はレイアウトが固定形式（Fixed Form）されているため、縦にも横にも同じ比率で拡大されるため、画面上では横スクロールによる行末までの移動と行末から次の行の行頭へ移動するための逆スクロールを要し、同時に視線は行替え（return sweep）を行う必要がある。そのため拡大率の大きな弱視者においてPDF形式は読書速度に

^{*} 広島大学大学院人間社会科学部特別支援教育学領域

^{**} 広島大学大学院人間社会科学部博士課程後期教育学専攻教師教育デザイン学プログラム

対して抑制的に作用することとなる。視野狭窄の弱視者を対象にした小型タブレット端末に読み物を表示した実証実験においては、小型タブレット端末の方が紙よりも読書速度が速かったことが報告されている(氏間・小田, 2003)。同研究は画面サイズが当時一般的な解像度であるVGAの4分の1程度のQVGAであったため、重度の低視力ではなく、視野狭窄の弱視者にとっては、画面サイズが保有視野に合致したことによる効果であった。このように見え方によっても適する表示形式は異なる。

近年、技術進歩とともに固定形式や行移形式以外の表示も可能になっている。行という概念を取り払い横一直線に表示する一行形式(Linear Form)と一定の長さの文字列を画面の定位置に連続して表示する切片形式(Sectional Form)が挙げられる。一行形式は、視野狭窄者の読書ツールとして開発されている(Walker, 2013)。通常の読書と異なり眼球運動が左右にぶれないフラットなグラフとなることを示している。眼球運動が読書速度を低減している場合には有効な表示形式である。EP(Elicited Sequential Presentation)形式は、研究レベルで提案され、拡大読書器やRSVP(Rapid sequential visual presentation)よりも特に低速読書者の読書速度の向上に貢献することが報告されている(Aries, 1999)。RSVPによる弱視者の読書についても検討されているが(Rubin and Turano, 1994)、EP形式はそれよりも効率的である。これら4つの表示形式は既に拡大読書器に搭載されている(<https://hims-inc.com/products/e-bot-pro/>)点からも注目されている表示形式であるといえる。ただし、日本語の場合は、単語や文節の区切りが英語ほど明確ではないため、文字数で区切る形式を採用し、切片形式としている(氏間, 2017)。

このようにデジタル・リーディングの表示形式は主に4つに集約できると考えられる。そのため文字サイズの要因についても検討する。また、デジタル・リーディングは拡大をはじめとした自在な表示の変更が可能であることから、弱視者の読書環境として有望であることは先述の通りである。表示形式は文字サイズとの関係性において読書効率に影響を及ぼすことが考えられる(氏間・村田, 2000; 氏間・小田, 2003)ことから、弱視者が拡大して読書した際、どの表示形式が拡大に対して最も読書の効率を発揮できるのか、検討しておく必要がある。この点について、晴眼者を対象に、読み速度を指標に行った実験の結果、行移形式と一行形式の2つが拡大しても読み速度が低下しにく

かったことが明らかになっている(氏間, 2017)。そこで次の段階として、本研究では、弱視の中から低視力に着目し、低視力の影響をできるだけ明確に捉えるため、シミュレーションによる実験を実施し、表示形式および文字サイズが読み速度に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

II. 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要因の繰り返しのある要因計画法であった。従属変数は読書効率の実験で一般的に用いられる読書速度とした。

2. 実験期間と実験協力者

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1週間のインターバルを置いて実験に参加した。条件の順序はランダム化された。

3. 手続き

実験は、基礎調査と本実験の2つから構成された。基礎調査は近距離視力、語彙力検査、日用視野(氏間, 2013)、文字サイズが十分に大きいときにみられる安定した読書速度が得られる文字サイズの範囲であるブラトー期を測定した。

本実験は、4通りの表示形式で練習を実施した。練習は本実験で利用しない文章を用いた。練習後、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書速度を測定した。各文字サイズで4つの表示形式で読書速度を測定する前には、繰り返しによる読書速度の変化を捉えるため基準データを測定した。各文字サイズの順はランダムに配置された。つまり、1人の実験協力者において、1回目の基準データ測定→文字サイズA(4つの表示形式での測定(順序はランダム化))→2回目の基準データ測定→文字サイズB(同様)→3回目の基準データ測定→文字サイズC(同様)→4回目の基準データ測定→文字サイズD(同様)で、文字サイズAからDは、18pt、29pt、45pt、72ptの中からランダム化されて配置された。

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OLS0.1を用いてシミュレーションを行い、シミュレーションの状態はlogMAR近視視力表（Precision Vision 社製）で確認した。

文章は中学校の教科書から有意義シャッフル法で作成された500文字前後の文章であった。19文章を作成し、30名の被験者により読書速度に有意差の出ない9文書が抽出された（古山・氏間, 2014）。各実験協力者で、表示形式と文章の組み合わせをランダムに設定し、一人の実験協力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。全実験協力者を通じて基準データを測定する際は共通の文章を用いた。文字の高さは、18ポイント（以下、pt とする）（高さ2.0mm、文字に張る視角0.38°）を基準に0.2logUNIT で拡大された、29ポイント（3.5mm、0.65°）、45ポイント（6.0mm、1.15°）、72ポイント（10.0mm、1.91°）の4種類であった。文字の高さのポイントはiPad への入力値であり、（ ）内の高さは「国」を画面表示した実測値であり、視角は実験距離30cmでの値である。

測定はiPad air 2（Apple 社製）で縦置きで行われた。iPad の画面サイズは9.7インチ、解像度は2048×1536、画素密度は264ppiであった。固定形式は1行40文字であり、文字サイズ18ポイントで1行が画面幅に収まり、29ポイント以上では横スクロールが必要であった。行移形式は画面幅で行が折り返した。一行形式は画面の上下中央に横一直線に刺激が提示され、横スクロールのみで読書できた。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、画面を指で短時間触れる（以下、タップ）と次の5文字が表示された。切片形式において意味的に文章を切片化しなかった理由は、日本語の場合、文節の切れ目が曖昧であること、視野内に収まる文字数の大小が読書速度に影響を与えることが予想できることであった。iPad と眼の距離は30cm 程度に保たれた。画面上に刺激文の1文字目にカウントダウンの数字が提示され後に文章が刺激文が表示され、カウントダウン中は文章の1文字目にあたる部分にその施行で利用する文字サイズと同じ大きさの四角1つが点滅した。実験協力者は、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。読書後は画面に表示される「終了ボタン」をタップした。「終了ボタン」をタップすると文章は画面から消えた。

文章が表示されている時間を測定し、「文字数 / 読み時間（秒）×60」で読書速度が算出された。

5. 分析方法

低視力シミュレーション「なし」と「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要因被験者内の分散分析を行い、読書速度に及ぼす表示形式及び文字サイズの効果の特徴を明らかにした。また、シミュレーションの効果を明らかにするために、各実験参加者の低視力ありの読速度を低視力なしの読速度で除し（読速度比）、その大きさを群分けし検討した。

III. 結果

1. 基礎データ

実験参加者16名のlogMAR 視力値は、低視力「なし」では、最大0.2、最低-0.1、平均-0.031、低視力「あり」では、最大1、最低0.2、平均0.538であった。

文字サイズは臨界文字サイズを上回っていることが読書速度の結果より確認された。

語彙テスト結果は、3回実施した語彙テストの平均値は20,400語から49,900語であった。

4回分の基準データの結果を一要因被験者内分散分析した結果、低視力なし ($F(3, 42) = 9.292, p = .000, \eta^2 = .134$)、低視力あり ($F(3, 42) = .828, p = .484, \eta^2 = .004$) となり、効果量は小から中程度であった。

2. 低視力なし

Table 1及びFig. 1に低視力「なし」の記述統計量を示した。

シミュレーション「なし」の2要因の交互作用は有意であった ($F(9, 135) = 12.932, p < .001, \eta^2 = .068$)。読み速度の結果をFig. 1に示した。交互作用が有意であったため各水準における要因の単純主効果を検討した。各文字サイズにおける表示形式の単純主効果は、18ptにおける表示形式の単純主効果 ($F(3, 45) = 19.029, p < .001, \eta^2 = 0.054$) は有意であった。29ptにおける表示形式の単純主効果 ($F(3, 45) = 21.496, p < .001, \eta^2 = 0.065$) も有意であった。45ptにおける表示形式の単純主効果 ($F(3, 45) = 14.905, p < .001, \eta^2 = 0.055$) も有意であった。72ptにおける表示形式の単純主効果 ($F(3, 45) = 30.838, p < .001, \eta^2 = 0.103$) も有意であった。効果量も中程度以上であった (Table 2)。

表示形式条件間大小関係を Holm の多重比較を用い

て検討した（5%水準）（Table 3）。

行移形式と一行形式は全ての文字サイズにおいて有意差はみられなかった。固定形式<行移形式及び一行形式（45ptと72pt）、固定形式<切片形式（72pt）であった。切片形式<行移形式及び一行形式となったのは全ての文字サイズにおいてであり、切片形式<固定形式となったのは18ptと29ptであった。各表示形式における文字サイズの単純主効果は、固定形式における文字サイズの単純主効果（ $F(3, 45) = 17.911, p = .000, \eta^2 = 0.064$ ）は有意であった。行移形式における文字サイズの単純主効果（ $F(3, 45) = 1.672, p = 0.187, \eta^2 = 0.004$ ）も有意ではなかった。一行形式における文字サイズの単純主効果（ $F(3, 45) = 1.406, p = 0.252, \eta^2 = 0.004$ ）も有意ではなかった。切片形式における文字サイズの単純主効果（ $F(3, 45) = 1.134, p = 0.347, \eta^2 = 0.007$ ）も有意ではなかった。固定形式においてのみ単純主効果が有意であった。Holmの多重比較の結果、 $18pt > 45pt \cdot 72pt$ 、 $25pt \cdot 45pt > 72pt$ であった。

Table 1 「低視力なし」の読み速度の記述統計量（N=16）
単位：文字 / 分

	18pt	25pt	45pt	72pt
固定	442.1	439.5	413.6	369.7
	41.9	45.0	63.7	53.3
行移	448.7	460.0	451.5	466.0
	51.4	41.5	52.1	38.6
一行	461.2	471.1	462.8	449.7
	46.6	45.5	38.2	34.3
切片	391.0	394.5	397.2	415.5
	71.0	49.7	62.4	49.9

上段：平均値，下段：標準偏差

3. 低視力あり

低視力ありの記述統計量を Table 4に示した。「低視力あり」の表示形式と文字サイズが読書速度に及ぼす交互作用は有意であった（ $F(9, 135) = 9.927, p < .001, \eta^2 = .037$ ）。結果を Fig. 2に示した。各文字サイズにおける表示形式の単純主効果（Table 5）は、18ポイントにおける表示形式の単純主効果（ $F(3, 45) = 88.927, p < .001, \eta^2 = 0.015$ ）は有意であった。29ポイントにおける表示形式の単純主効果（ $F(3, 45) = 5.981, p = .002, \eta^2 = .010$ ）は有意であった。45ポイントにおける表示形式の単純主効果（ $F(3, 45) = 13.576, p < .001, \eta^2 = .017$ ）は有意であった。72ポイントにおける表示形式の単純主効果（ $F(3, 45) = 22.519, p < .001, \eta^2 = .036$ ）有意であった。全ての単純主効果が有意であり、小さい効果量であった。

表示形式条件間大小関係を Holm の多重比較を用いて検討した（5%水準）。切片<行移の関係は全ての文字サイズにおいてみられた。固定<行移の関係は18pt以外でみられた。行移>一行の関係は45pt以外の条件でみられた。表示形式における文字サイズの単純主

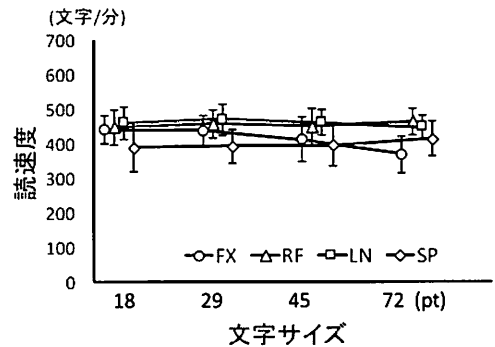


Fig. 1 「低視力なし」の読み速度の結果
FX：固定，RF：行移，LN：一行，SP：切片を示す。

Table 2 単純主効果の結果（低視力なし）

	自由度 1	自由度 2	F	P	η^2
18ポイントにおける表示形式の単純主効果	3	45	19.03	0.000	0.054
29ポイントにおける表示形式の単純主効果	3	45	21.50	0.000	0.065
45ポイントにおける表示形式の単純主効果	3	45	14.90	0.000	0.055
72ポイントにおける表示形式の単純主効果	3	45	30.84	0.000	0.103
固定形式における文字サイズの単純主効果	3	45	17.90	0.000	0.064
行移形式における文字サイズの単純主効果	3	45	1.67	0.187	0.004
一行形式における文字サイズの単純主効果	3	45	1.41	0.252	0.004
切片形式における文字サイズの単純主効果	3	45	1.13	0.347	0.007

Table 3 多重比較の結果

< >は、5%水準の有意差を示す。視角は30cmの視距離の場合を示す。

低視力なし				低視力あり				
文字サイズ：18pt (0.7°)								
	RF	LN	SP			RF	LN	SP
FX	n.s.	n.s.	>		FX	n.s.	>	>
RF		n.s.	>		RF		>	>
LN			>		LN			n.s.
文字サイズ：29pt (1.1°)								
	RF	LN	SP			RF	LN	SP
FX	n.s.	<	>		FX	<	n.s.	n.s.
RF		n.s.	>		RF		>	>
LN			>		LN			n.s.
文字サイズ：45pt (1.7°)								
	RF	LN	SP			RF	LN	SP
FX	<	<	n.s.		FX	<	<	n.s.
RF		n.s.	>		RF		n.s.	>
LN			>		LN			n.s.
文字サイズ：72pt (2.6°)								
	RF	LN	SP			RF	LN	SP
FX	<	<	<		FX	<	<	<
RF		n.s.	>		RF		>	>
LN			>		LN			n.s.

FX：固定、RF：行移、LN：一行、SP：切片

低視力なし				低視力あり					
表示形式：固定									
	29pt	45pt	72pt			29pt	45pt	72pt	
18pt	n.s.	>	>		18pt	n.s.	<	<	
29pt		n.s.	>		29pt		n.s.	>	
45pt			>		45pt			>	
表示形式：行移									
	29pt	45pt	72pt			29pt	45pt	72pt	
18pt	5%水準での単純主効果なし				18pt	n.s.	<	<	
29pt					29pt	n.s.	n.s.		
45pt					45pt	n.s.			
表示形式：一行									
	29pt	45pt	72pt			29pt	45pt	72pt	
18pt	5%水準での単純主効果なし				18pt	n.s.	<	<	
29pt					29pt	<	n.s.		
45pt					45pt	n.s.			
表示形式：切片									
	29pt	45pt	72pt			29pt	45pt	72pt	
18pt	5%水準での単純主効果なし				18pt	n.s.	<	<	
29pt					29pt	<	<		
45pt					45pt	n.s.			

効果 (Table 5) は、固定形式における文字サイズの単純主効果 ($F(3, 45) = 1.15, p = .339, \eta^2 = .006$) は有意であった。行移形式における文字サイズの単純主効果 ($F(3, 45) = 4.959, p = .005, \eta^2 = .026$) は有意であった。一行形式における文字サイズの単純主効果 ($F(3, 45) = 11.961, p < .001, \eta^2 = 0.012$) は有意であった。切片形式における文字サイズの単純主効果 ($F(3, 45) = 13.596, p < .001, \eta^2 = .037$) は有意であった。固定形式条件以外の条件で有意であった。18pt=29pt 及び 18pt<45pt・72pt は、行移形式、一行形式、切片形式の全てでみられた。29pt<45pt は一行形式・切片形式でみられた。29pt<72pt は固定形式でみられた。

4. 読速度比

低視力の影響を明らかにするために、読速度の結果を「狭窄あり／狭窄なし」の式に当てはめ、「読速度比」を算出した。16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「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. 3 に示した。

Table 4 「低視力あり」の記述統計量 (N=16)
単位：文字 / 分

	18pt	29pt	45pt	72pt
固定	345.6	346.2	356.4	323.1
	130.5	68.8	65.7	71.3
行移	345.2	383.3	423.0	424.6
	125.8	69.4	76.0	81.1
一行	306.9	347.2	404.1	387.4
	120.8	88.1	72.9	82.5
切片	298.4	329.2	378.3	388.1
	120.6	81.5	91.5	94.5

上段が平均値、下段が標準偏差

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、狭窄なし優位群>狭窄あり優位群となり ($\alpha = .05$)、25pt では、狭窄なし優位群>不偏群、及び狭窄なし優位群>狭窄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 ($t(\chi^2(2) = 16.625, p < .01)$)。ライアンの名義水準を用いた多重比較の結果、狭窄なし優位群>不偏群、及び狭窄なし優位群>狭窄あり優位群であった ($\alpha = .05$)。

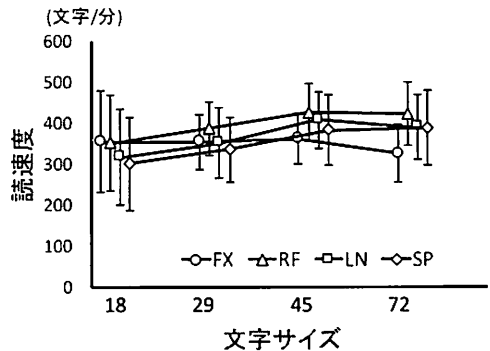


Fig. 2 「低視力あり」の読速度の結果
FX：固定、RF：行移、LN：一行、SP：切片を示す。

Table 5 単純主効果の結果 (低視力あり)

	自由度 1	自由度 2	F	P	η^2
18ポイントにおける表示形式の単純主効果	3	45	8.891	0.000	0.015
29ポイントにおける表示形式の単純主効果	3	45	5.981	0.002	0.010
45ポイントにおける表示形式の単純主効果	3	45	13.576	0.000	0.017
72ポイントにおける表示形式の単純主効果	3	45	22.519	0.000	0.036
固定形式における文字サイズの単純主効果	3	45	1.150	0.339	0.006
行移形式における文字サイズの単純主効果	3	45	4.959	0.005	0.026
一行形式における文字サイズの単純主効果	3	45	11.961	0.000	0.036
切片形式における文字サイズの単純主効果	3	45	13.596	0.000	0.037

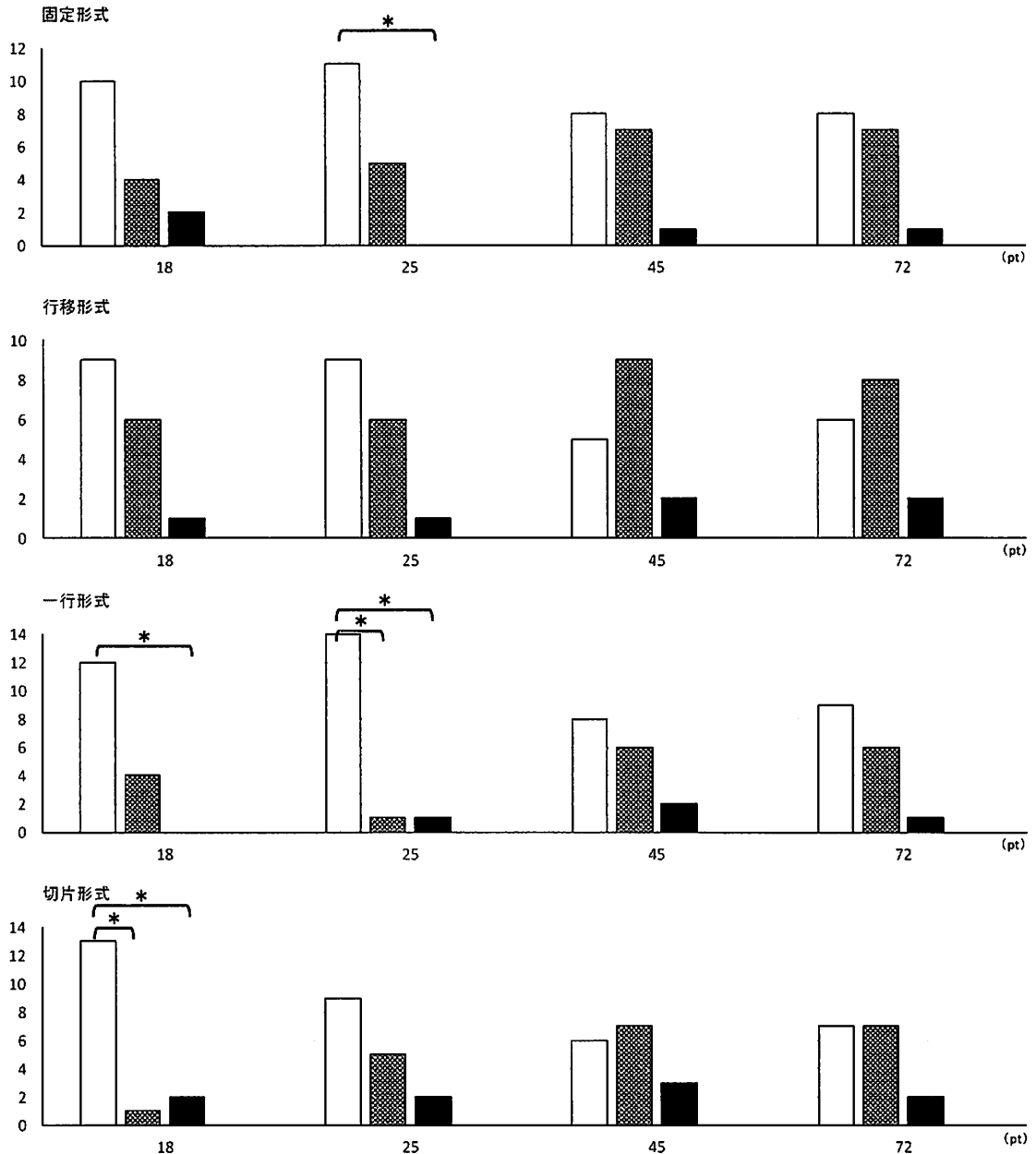


Fig. 3 「読速度比」の結果 (N=16)

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

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

IV. 考察

1. 参加者の特性

デジタル・リーディングにおける表示形式と文字サイズが読書速度に与える影響を低視力シミュレーシ

ョン「なし」条件と「あり」条件とで検討した。

日本語読解力テストでは2万から4万語が中学レベルとされており(NTTコミュニケーション科学基礎研究所, 1999)、今回利用した刺激文は中学校の教科書を利用しているため、中学校段階で使用する教科書

から刺激を作成した本研究に参加する実験参加者の語彙力としては妥当な結果であった。

2. 低視力の有無の影響

「低視力なし」、つまり暗眼の状態・「低視力あり」、つまり低視力の弱視状態ともに18ptでは固定形式はその他の形式よりも同等かそれ以上の読速度であり、固定形式がどちらの見え方にとっても読書速度の点で有利である。18ptでの固定形式は表示形式の点で行移形式と同じであり、画面のスクロールやタップを要せずに読書できるためだと考えられる。切片形式は固定形式や行移形式より読速度が遅かった。切片形式は5文字読むごとにタップして表示を更新する必要があることが原因と考えられる。Aries (1999) は、低速読書者の弱視者は RSVP よりも ESP の方が、読書速度が速かったが、高速読書者の弱視者はそうではなかったことを報告しており、その原因として高速読書者は ESP の際のタップ操作が読書速度を遅くする原因であることを指摘している。今回は切片形式と他の形式とを比較して18ptにおいては他の形式の方が、読書速度が速いことから、相対的に切片形式の読書速度が遅くなった。その原因としてはタップを要したことが考えられる。また、文脈に無関係な切片化は意味処理論的に負荷が高かったことも排除できない。

PDFなどの閲覧でみられる固定形式に着目すると、18ptでは4つの表示形式の中で読速度が同等か速い形式であったが、29pt、45pt、72ptと文字サイズが大きくなるに従って、他の3つの表示形式よりも読速度が遅くなる結果となった。これは文字の拡大に応じて、固定形式の一行が画面から溢れるため、横スクロールの振幅の増大と行替えの眼球運動の負荷の増大が影響している。横スクロールの振幅は文字サイズが大きくなればなるほどその距離が大きくなるため、ページの左右移動に時間を要するようになる。また、行末から行頭へスクロールしている際、行を見て捉え続けられないと次の行頭へたどり着くことができない。つまり行替えの際の眼球運動ができないため、行末から行頭への距離が大きくなることで、行を見て捉え続けることの負荷も増してくることが考えられる。このことは、重度の弱視状態では、PDF形式の読速度がHTML形式の読書速度よりも有意に遅くなる報告(氏間, 2000)からも支持される結果である。

ePubなどの読書時の形式である画面幅で折り返す行移形式と、Walker (2013) が提案している横スクロールのみの一行形式は「低視力あり」「低視力なし」

の間に違いがみられた。「低視力なし」では行移形式と一行形式は、全ての文字サイズで読速度に差が見られなかったが、「低視力あり」では、3つの文字サイズにおいて行移形式が一行形式よりも読速度が有意に速かった。Walker (2013) は一行形式にすることで眼球運動がほとんど生じないため、通常の表示形式でみられるサッケード(saccade)や行替え(return sweep)を伴う読書と比べて、一行形式は視野狭窄では読書速度に促進的に貢献することを指摘している。今回はばやけによる低視力状態であるため、視野狭窄とは全く異なるが、接近視では実視界が狭くなることがわかっているため(小林, 1992)この実視界の狭小が影響したと考えられる。

切片形式は、他の3つの表示形式よりも読速度が同等か遅い結果となった。文字サイズが小さいと切片形式が最も遅いか同等の表示形式であるが、文字サイズが大きくなり固定形式の読書速度が低下してくると、相対的に固定形式よりも切片形式の方が速いか同等になる結果となった。

表示形式における文字サイズの単純主効果について、「低視力なし」では、固定形式のみで有意な効果がみられた。18ptと29ptは読書速度が同等であるが、72ptは18pt、29pt、45ptよりも遅かった。このことは、暗眼状態において固定形式は文字サイズの拡大に伴って横スクロールと行替えの眼球運動の点で負荷が増すため読書速度が遅くなるが、29pt程度、つまり18ptで画面幅の設定であるため、画面幅の1.6倍程度の行長であれば、読書速度に影響しないことも明らかとなった。ただし、この結果は今回も受けた実験条件内での数値であるため、その定量的な程度についてはさらなる検討が必要となる。一方、「低視力あり」では、固定形式における文字サイズの単純主効果はみられなかった。低視力では文字の読み取りにくさが全体の読書速度を遅くするため、今回の実験条件では固定形式の文字拡大による読書速度の低下が、見えにくさが読書速度に与える抑制的な効果を超えられなかったためであると考えられる。一方、「低視力なし」ではみられなかった、行移形式、一行形式、切片形式における文字サイズの単純主効果が「低視力あり」でみられた。いずれも文字サイズが拡大されると読書速度も速くなっているが、45ptと72ptでは有意な差がみられていないことから、文字サイズがある程度大きくなると、読書速度のプラトー状態になる現象(Mansfield et al., 1996)が起こったものと考えられる。今回の実験で設定した文字サイズは、読書のプラトー期に収まるように文

字サイズを設定したが、氏間・島田・小田（2007）が指摘しているように、臨界文字サイズ近辺の文字サイズはプラトー期内でも読書速度に違いがみられることもあるため、このような結果になったと考えられる。また、行移形式では29pt・45pt・72pの間に有意差がみられず、一行形式では29pt<45ptで、29pt・72ptの間には有意差が見られず、45pt<72ptであった。切片形式では29pt<45pt、45pt<72pt、45pt・72ptの間では有意差がみられなかった。このことは、表示形式によって臨界文字サイズが異なることを示唆していると考えられる。

3. 読速度比

読速度比は、18pt、25pt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。

4. 本研究の限界

本研究の限界は文字サイズの幅が小さいことが挙げられる。文字サイズをさらに大きくすると表示形式と文字サイズの交互作用が想定されるため、文字サイズの設定幅を大きくすることで、重度の弱視者のデジタルリーディングの読書の状況を明らかにする必要がある。さらに、今回は低視力の影響を明らかにするためにシミュレーションを用いたが、実際の弱視は様々な要素が複合的に作用するので、当事者実験による、さらなる検討が必要である。

文 献

Aries, A. (1999) Elicited sequential presentation for low vision reading. *Vision Research*, 39, 4412-4418.
 Crossland, M. D., Macedo, A. F., & Rubin, G. S. (2010) Electronic books as low vision aids. *British Journal of Ophthalmology*, 94, 1109.
 小林秀之・五十嵐信敬（1992）視野制限下における視覚探索方略に関する実験的研究. 視覚障害心理・教育研究, 9, 17-22.

古山和葉・氏間和仁（2014）読書速度に及ぼす一行の長さとの視野の広さの影響について. 第15回日本ロービジョン学会学術総会プログラム・抄録集, 81.
 Lockyer, S., Creaser, C., & Davies, J. E. (2005) Availability of accessible publications: Designing a methodology to provide reliable estimates for the right to read alliance. *Health Information & Libraries Journal*, 22, 243-252.
 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, 1492-1501.
 NTT コミュニケーション科学基礎研究所（1999）語彙数推定テスト解説 <http://www.kecl.ntt.co.jp/cgi-bin/goitokusei/log-new3.cgi> (2016/03/21閲覧)
 Rubin, G., & Turano, K. (1994) Low vision reading with sequential word presentation. *Vision Research*, 34, 1723-1733.
 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, 37.
 氏間和仁（2013）携帯端末による教育的視機能評価ツールの開発と評価. 日本特殊教育学会第51回大会 USB メモリー, P5-C-12.
 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, 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, 415-424.
 氏間和仁・小田浩一（2003）PDAを利用したロービジョン用読書支援ツール. 信学技報 WIT2003-4, 19-23, 2003.
 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, 1-12.
 Walker, R. (2013) An iPad app as low-vision aid for people with macular disease. *British Journal of Ophthalmology*, 97, 110-112.
 (2022. 2. 10受理)

Effects of Presentation Style of Digital Reading on Reading Speed in Simulation of Low Vision

Kazuhito UJIMA

Graduate School of Humanities and Social Sciences, Hiroshima University

Mai IMAZU

Graduate School of Humanities and Social Sciences, Hiroshima University

In this paper, digital reading is defined as reading a document on a computer monitor. The methods of digital reading comprise fixed form, reflow form, line form, and sectional form. A current paper considered effects of presentation style of digital reading on reading rate in simulation of low vision. This experiment was conducted by changing the factors of the display form and character size and the factorial design of the two factors for 16 healthy university students. It was conducted using an indication form and the factor plan method of two factors of the size. Reading rate was the dependent variable. Regarding the interaction effects, there were significant differences between simulation and non-simulation conditions. In both conditions, reflow and line reading rates were faster than for sectional. In non-simulation condition, there is significant simple main effect of character size in fixed form level. In simulation condition, there is significant simple main effect of character size in reflow, line and sectional form level.

Key words: reading rate, digital reading, low vision, simulation