

# 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—

氏間 和仁  
広島大学

日本ロービジョン学会誌

Journal of Japanese Society for Low-vision Research and Rehabilitation

# 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—

氏間 和仁

広島大学

## Effects of Presentation Style on the Rate of Reading Digital Material

— Influence of Simulation of Visual Field Loss —

Kazuhiro Ujima

Hiroshima University

目的：コンピュータ画面上で読書することをデジタル・リーディングという。デジタル・リーディングには、表示領域を縦横に拡大するズーム（ZM）、縦に拡大するリフロー（RF）、横一行に表示するリニア（LN）、数文字を一定の場所に表示する切片化（SP）がある。これらの表示形式と文字サイズが読速度に及ぼす影響を視野狭窄シミュレーションの有無で比較した。

方法：晴眼大学生14名を対象に表示形式（4水準）、文字サイズ（4水準）の要因計画法にて実験を行った。従属変数は読速度であった。文字サイズは0.7°、1.1°、1.7°、2.6°の値を設定した。

結果：シミュレーションあり・なしの両条件で、交互作用がみられた。小さな文字において、シミュレーションなしでは、SPの読速度はZM、RF、LNより遅いが、シミュレーションありでは、すべての読速度で有意差はなかった。大きな文字において、シミュレーションなしでは、ZMとSPの読速度はRF、LNよりも遅く、シミュレーションありでは、ZMの読速度はRF、LN、SPよりも遅かった。

結論：視野狭窄においてデジタル・リーディングの表示環境を検討する際、RF・LN・SPの拡大のなかから選択する必要がある。  
(日本ロービジョン学会誌 16:24-32, 2016)

キーワード：読速度、デジタル・リーディング、視野狭窄、シミュレーション

Purpose : In this paper, digital reading is defined as reading a document on a computer screen. The methods of digital reading comprise of zoom (ZM) form, reflow (RF) form, linear (LN) form, and sectional presentation (SP) form. ZM form expands the length and breadth of materials; RF form expands the breadth; LN form displays the materials on one line; SP form displays five characters. This study compared visual field loss simulation and non-simulation to identify effects of character size and display form on the reading rate. The size of characters was set to the values of 0.7°, 1.1°, 1.7° and 2.6°.

Methods : This experiment was conducted by changing the factors of the display form, character size and the factorial design of the two factors for 14 healthy university students. The experiment was conducted using an indication form and the factor plan method of two factors of size. Reading rate was the dependent variable.

Results : Regarding the interaction effects, there were significant differences between simulation and non-simulation conditions. In small character size, SP reading rate was slower than ZM, RF and LN without simulation, but, no reading rates had significant differences with simulation. In large character size, ZM and SP reading rates were slower than RF and LN without simulation, but ZM reading rate was slower than RF, LN and SP with simulation.

Conclusions : This study showed that when choosing a display form for digital reading for people with visual field loss, it is necessary to select RF, LN, and SP magnification methods.

(J Jpn Soc Low-vision Research and Rehabilitation 16 : 24-32, 2016)

**Key Words : Reading Rate, Digital Reading, Visual Field Loss, Simulation**

### 緒 言

近年、タブレット端末が普及し、コンピュータ画面上に表示

された文章を読むデジタル・リーディング (digital reading) の機会が増えている。これまでは電子メールやホームページをデジタル・リーディングすることがほとんどであったが、近年はそれら以外にも、ePub や PDF、独自フォーマット

別刷請求先：739-8524 広島市鏡山 1-1-1 広島大学大学院教育学研究科 氏間和仁

Reprint requests to: Kazuhiro Ujima Hiroshima Univ, Graduate School of Education

1-1-1 Kagamiyama, Higashihiroshima 739-8524, Japan

トのデータで提供される書籍や論文の増加、デジタル・リーディングを前提とした商用サービスの開始など、その方法も多様化し充実している。デジタル・リーディングは、コンピュータなどのデジタル技術によって表示された文字を読むことを指し、文字がインクなどで印刷された用紙などの媒体を取り替えながら読むのではなく、表示する媒体を固定して、文字を電子的に取り替えながら読むことが一般的である。

デジタル・リーディングは多様な表示形式を可能にし、ロービジョン（以下 LV）者にとって効率的な読書環境を構築する上で、理想的で有力な選択肢の一つである。紙の教科書と HTML (Hyper Text Markup Language) 形式の教科書の読速度と、指定されたページへの到達時間を、LV 者を対象に比較した研究がある<sup>1)</sup>。読速度において HTML 形式は紙の教科書と同等で、当該ページへの到達時間は HTML 形式が有意に短かったことが報告されている<sup>1)</sup>。紙と HTML はともに拡大時、媒体幅で行を折り返すリフロー (Reflow; RF) 形式であるため、読速度に媒体の効果はみられなかったと指摘している<sup>1)</sup>。視野狭窄の LV 者を対象にした小型タブレット端末に教科書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速度が速かったことが報告されている<sup>2)</sup>。後者の研究は画面サイズが当時一般的な解像度である VGA の 1/4 の QVGA であったため、重度の低視力ではなく、視野狭窄の LV 者を対象にしていた。A4 用紙の幅よりも QVGA の画面幅は 1/4 程度に小さいため、視野狭窄の LV 者にとっては小さい画面がかえって読速度の向上に貢献したことが指摘されている<sup>2)</sup>。また、当時利用されていた HTML 形式の書籍はリフロー形式と、PDF のように縦にも横にも同じ割合で拡大されるズーム (zoom; ZM) 形式の比較が中心であった<sup>3)</sup>。ズーム形式は文字を拡大すると画面から縦にも横にも仮想的にはみ出してしまうため、文字の拡大率が大きい表示ではズーム形式の読速度は低下することが知られている。当時と比較して、現在はタブレット端末が高機能化し、未来のロービジョンエイドとして有望であることが指摘されている<sup>4)</sup> ことから、これらの表示形式と文字拡大が読速度に及ぼす影響を整理する必要性がある。

更に最近では、ズーム形式やリフロー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リニア (Linear: LN) 形式と、一定の長さに切片化された文字列を定位置に連続して表示する形式である。リニア形式は、視野狭窄者の読書ツールとして開発されている<sup>5)</sup>。文字列を切片化する方法のなかでは、elicited sequential presentation (以下 ESP) 形式が、研究レベルでは提案され、拡大読書器や rapid sequential visual presentation (以下 RSVP) よりも、とくに低速読書者の読速度の向上に貢献することが報告されている<sup>6)</sup>。RSVP による LV 者の読書についても検討されている<sup>7)</sup> が、RSVP は決められた速度

で文字列が更新されるのに対し、ESP 形式は実験協力者のボタン操作により文字列の表示が更新されるため、読書においては、ESP 形式の方が実用的である。これら四つの表示形式はすでに拡大読書器に搭載されている (<https://hims-inc.com/products/e-bot-pro/>)。なお、ESP 形式は単語単位で断片化し表示するが、日本語の場合、1. 文節の切れ目が英単語の切れ目ほど容易に判別し難いこと、2. 視野内に収まる文字数の大小は読速度に影響を与えること、3. 画面に表示される切片により文字列の長さが異なると、長い文字列では横スクロールが必要になる、といった具合に、操作性に影響を与えるといった問題点を想定できる。そこで、本研究では文字列の断片化を文字数で定義し、切片化 (Sectional Presentation; SP) 形式と称した。

このようにデジタル・リーディングの役割が注目され、ロービジョンエイドとしての期待が高まり<sup>4)</sup>、デジタル・リーディングにおける表示形式の多様化と製品化が進んでいること、これら四つの表示形式は個別に比較されてはいるものの総合的に検討されていないことを踏まえ、四つの表示形式が読速度に及ぼす影響を明らかにすることを本研究の目的とした。その際、表示形式は文字サイズとの関係性において読速度に影響を及ぼすことが考えられる<sup>1-3)</sup>。そのため文字サイズの要因についても検討する。本研究では、網膜色素変性症や緑内障などのように求心性視野狭窄症状の社会的ニーズの高さを考慮し、LV のなかでも求心性視野狭窄に着目した。当事者対象の実験の前段階として、視野狭窄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た。

## 方 法

### 1. 研究デザイン

ズーム (ZM)、リフロー (RF)、リニア (LN)、切片化 (SP) の四つの表示形式と 4 種類の文字サイズの二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速度とした。

### 2. 実験期間と実験協力者

実験期間は、2015 年 9~11 月であった。実験協力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。実験協力者は、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、1 週間以上のインターバルに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。

### 3. 手続き

実験は、基礎調査と本実験で構成された。基礎調査では、近距離 logMAR 視力、語彙力推定テスト、日用視野 (氏間和仁: 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, 2013.), 読書に適した文字サイズ測定を実施した。読書に適した文字サイズは, MNREAD の手法に基づいてプラト一期の文字サイズに, 実験で用いる最小の文字サイズが収まっているサイズとした。本実験は, はじめに4とおりの表示形式での練習試行を実施した。練習試行後, 4種類の文字サイズのなかから, 1種類の文字サイズを定め, 4種類の表示形式をランダムな順番に配置して条件の提示順を決めた。各文字サイズで実験を実施する前には, 順序効果を捉えるため読速度の測定を行い, このデータを基準データと名付けた。基準データは, 同一文章で, 文字サイズ0.7°, ズーム形式で表示された。各文字サイズの実験順はランダムに配置された。したがって, 1人の実験協力者において, 文字サイズA(基準データ測定→四つの表示形式での測定(順序はランダム化))→文字サイズB(同様)→文字サイズC(同様)→文字サイズD(同様)で, 文字サイズAからDに割り当てられる文字サイズは, 実験協力者ごとにランダム化の手続きにより決められた。

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。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。

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名の実験協力者により読速度に有意差のないことが示唆された9文書が抽出された(古山和葉・氏間和仁: 読速度に及ぼす一行の長さや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; 2014)。

文字の高さに張る視角は, 0.7°(実際には, 約0.658°)を基準に0.2 logUNITで拡大された1.1°, 1.7°, 2.6°の4種類であった。画面表示された「国」の文字の実測値は, 最上部の横線から, 最下部の横線まで約2mmであり, 書体はHiragino Sans W3であった。

測定はiPad air2 (Apple社製)縦置きで行われた。実験には独自開発された実験用ソフトウェアが用いられ, 表示条件入力, 刺激文表示, 刺激の表示時間計測を同ソフトウェアが行った。画面の表示は背景白(229.7±12.7cd/m<sup>2</sup>), 文字色黒(3.9±0.1cd/m<sup>2</sup>)で表示された。輝度は4点法で計測された。マイケルソン・コントラストは0.967±0.001であった。iPadの画面サイズは9.7インチ, 解像度は2,048×1,536, 画素密度は264ppiであった。

ズーム形式は1行40文字であり, 文字サイズ0.7°で1行が画面幅に収まった。iPadの画面幅は約14.8cm, 視距離30cmで見たときの視角にして26.3°であった。行数は文章により異なった。リフロー形式は画面幅で行が折り返した。そのため, 文字サイズにより1行の文字数や行数は異なった。リニア形式は画面の上下中央に横一直線に刺激文が提

示され, 横スクロールのみで読書できた。文字サイズにより横スクロールの回数が異なった。切片化形式は文章のなかから切り出された5文字が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文字が表示された。表示形式の様子を図1に示した。

iPadは台に固定され, 台は机上に固定された。実験協力者は読書時に下顎を固定して違和感を生じないように, 台で顎を固定し, 視距離は30cmに保たれた。顎から眼の距離よりも, 額から眼の距離の方が短いので, 視距離の統制の点からも下顎よりも前額固定が向いている。実験ソフトの「スタート」ボタンを実験協力者が押すと, 画面中央に画面一杯に表示される5カウントダウン後に刺激文が表示された。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じ大きさの四角一つが点滅した。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, 視野狭窄状態であっても文章に引き続き視認できるように, 画面幅一杯に表示される「終了ボタン」が文書に続き表示され, 実験協力者が直ちに押した。「終了ボタン」を押すと文章は画面から消えた。文章が表示されている時間を実験ソフトが測定し, 「文字数/読み時間(秒)×60」で読速度(CPM; Characters per minute)が算出された。

実験協力者は, 利き手(全員右手)で, 画面をスクロール

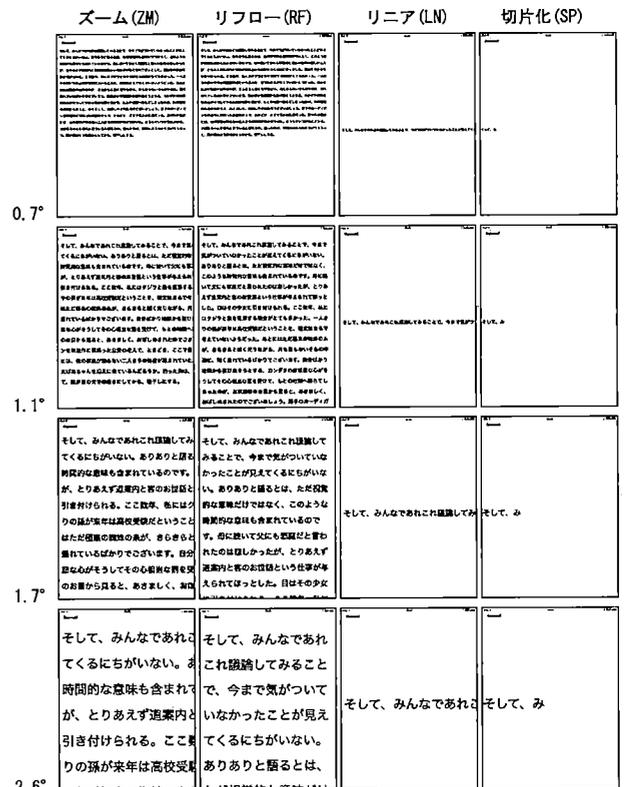


図1 表示条件の様子  
タブレットの画面をスクリーンショットで撮影した。

して読書した。ズーム形式は1行40文字固定であるため、文字サイズ0.7°ではスクロール操作不要、1.1°で横スクロールを要し、1.7°以上では横と縦スクロールを要した。リフロー形式は文字列が画面幅で折り返すため、文字サイズ0.7°ではスクロール操作不要で、1.1°以上では縦スクロールを要した。リニア形式は横一直線であるため、すべての文字サイズ条件で横スクロールを要した。切片化形式は5文字ずつ表示されるため、すべての文字サイズ条件で文字列の更新に画面タップ操作を要し、スクロール操作は不要であった。

5. 分析方法

視野狭窄シミュレーション「なし」(狭窄なし)と「あり」(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二要因実験協力者内分散分析を行い、シミュレーションの有無別に交互作用を検討し、単純主効果がみられる条件においては下位検定を実施した。また、シミュレーションの効果を明らかにするために、各実験協力者の狭窄ありの読速度を狭窄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。

結 果

1. 基礎調査および基礎データ

実験協力者14名の視力値はlogMAR視力0.8~1.25であった。半径5°の視野狭窄条件については、日用視野の結果、上下左右に5°ずつの狭窄状態が認められた。臨界文字サイズは文字の高さに張る視角で0.13°~0.26°であった。文

表1 基準データの結果 (n=14)

狭窄なし 試行回数				
	1回目	2回目	3回目	4回目
平均	413.6	434	447.3	459.5
不偏標準偏差	41.4	40.4	36.6	37.2
文字サイズ別				
	0.7°	1.1°	1.7°	2.6°
平均	427.4	437.5	439.8	449.7
不偏標準偏差	47.6	33.0	43.0	42.8
狭窄あり 試行回数				
	1回目	2回目	3回目	4回目
平均	396.0	414.3	407.0	420.4
不偏標準偏差	58.0	74.4	69.7	51.8
文字サイズ別				
	0.7°	1.1°	1.7°	2.6°
平均	404.2	412.9	411.9	408.7
不偏標準偏差	71.7	44.7	73.1	65.3

1回目から4回目までの基準データの平均値および不偏標準偏差を示した表。上段が狭窄なし条件、下段が狭窄あり条件である。それぞれの条件に試行回数と文字サイズ別の結果を示した

字の高さは「国」で測定された。実験で用いられた最小の文字サイズは0.7°であったことから、すべての実験協力者の臨界文字サイズは0.7°より小さかった。語彙テストの3回分の平均値は28,887~49,900語であった。

「狭窄なし」と「狭窄あり」の基準データの結果を表1に示した。「狭窄なし」条件において順序効果の検定を行うために試行回を要因とする一要因実験協力者内分散分析の結果、順序効果は有意であった(F(3, 39)=10.49, p<0.01)。「狭窄あり」条件の結果も同様の分散分析を行った結果、順序効果はみられなかった(F(3, 39)=2.01, p>0.10)。次に、試行順に得られた基準データを文字サイズごとにまとめ、文字サイズを要因とする一要因実験協力者内分散分析を行った(表1)。その結果、「狭窄なし」「狭窄あり」ともに、文字サイズの効果はみられなかった(「狭窄なし」(F(3, 39)=1.40, p>0.10), 「狭窄あり」(F(3, 39)=0.25, p>0.10))。

2. 狭窄なし

「狭窄なし」条件の読速度の記述統計量を表2に、そのグラフを図2に示した。表示形式(4水準)と文字サイズ(4

表2 「狭窄なし」の記述統計量 (n=14)

	文字サイズ			
	0.7°	1.1°	1.7°	2.6°
ズーム	436.2	430.6	406.5	359.2
	41.6	35.7	60.6	47.3
リフロー	441.8	450.3	441.8	454.4
	51.6	31.5	46.6	30.8
リニア	457.1	459.9	455.2	445.3
	48.4	31	34.5	34.2
切片化	386.2	385.1	386.2	404.5
	68.6	45.3	52.6	40.8

上段が平均値、下段が不偏標準偏差

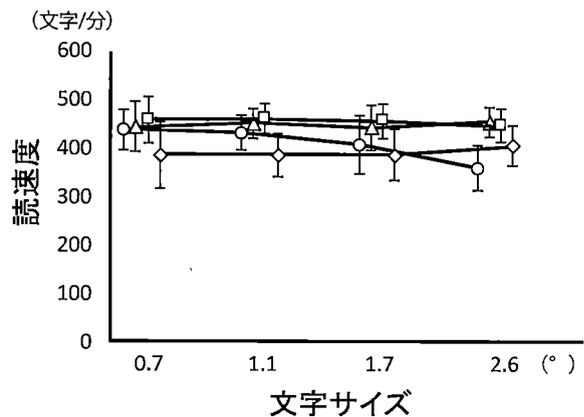


図2 「狭窄なし」の結果

狭窄なし条件の読速度の結果を示した折れ線グラフ。縦軸は読速度(文字/分, CPM), 横軸は文字サイズを示す。○:ズーム(ZM), △:リフロー(RF), □:リニア(LN), ◇:切片化(SP)をあらわす。縦棒は不偏標準偏差を示す。

水準)による二要因実験協力者内分散分析の結果、交互作用がみられた ( $F(9, 117) = 10.883, p = 0.000, \eta^2 = 0.078$ )。交互作用が有意であったため、各水準における単純主効果について検討した (表3)。すべての文字サイズ条件における表示形式の単純主効果が有意であった。すべての文字サイズ条件において表示形式の単純主効果が有意であったため、Holmの多重比較を用いて下位検定を行った (表4)。文字サイズ0.7°条件では、ズーム・リフロー・リニア>切片化が有意であった (5%水準)。文字サイズ1.1°条件では、0.7°条件に加え、リニア>ズームであった (5%水準)。文字サイズ1.7°条件では、リフロー・リニア>切片化、リフロー・リニア>ズームが有意であった (5%水準)。文字サイズ2.6°条件では、リフロー・リニア・切片化>ズーム、

リフロー・リニア>切片化であった (5%水準)。すべての文字サイズ条件で一貫してリフローとリニアの間に有意差はみられず、リフローとリニアは切片化より速かった。ズームの読速度は文字サイズの拡大に伴い、ほかの表示形式よりも遅くなっていた。

各表示形式条件における文字サイズの単純主効果がみられたのは、ズーム形式のみであった (表3)。Holm法による単純主効果の結果、 $0.7^\circ \cdot 1.1^\circ \cdot 1.7^\circ > 2.6^\circ$ であった。

3. 狭窄あり

シミュレーションを施した「狭窄あり」条件の結果の記述統計量を表5に、そのグラフを図3に示した。表示形式 (4水準) と文字サイズ (4水準) による二要因実験協力者内分散分析を行った結果、有意な交互作用がみられた

表3 単純主効果の結果 (狭窄なし)

	自由度1	自由度2	F	P	$\eta^2$
0.7°における表示形式の単純主効果	3	39	16.82	0.000	0.062
1.1°における表示形式の単純主効果	3	39	17.01	0.000	0.024
1.7°における表示形式の単純主効果	3	39	13.65	0.000	0.022
2.6°における表示形式の単純主効果	3	39	30.10	0.000	0.042
ズーム形式における文字サイズの単純主効果	3	39	17.23	0.000	0.027
リフロー形式における文字サイズの単純主効果	3	39	0.88	0.460	0.001
リニア形式における文字サイズの単純主効果	3	39	0.67	0.576	0.001
切片化形式における文字サイズの単純主効果	3	39	0.69	0.564	0.001

表4 多重比較の結果

狭窄なし				狭窄あり			
文字サイズ: 0.7°							
	RF	LN	SP		RF	LN	SP
ZM	n.s.	n.s.	>	ZM	n.s.	n.s.	>
RF		n.s.	>	RF		n.s.	n.s.
LN			>	LN			n.s.
文字サイズ: 1.1°							
	RF	LN	SP		RF	LN	SP
ZM	n.s.	<	>	ZM	<	<	<
RF		n.s.	>	RF		n.s.	n.s.
LN			>	LN			n.s.
文字サイズ: 1.7°							
	RF	LN	SP		RF	LN	SP
ZM	<	<	n.s.	ZM	<	<	<
RF		n.s.	>	RF		n.s.	n.s.
LN			>	LN			n.s.
文字サイズ: 2.6°							
	RF	LN	SP		RF	LN	SP
ZM	<	<	<	ZM	<	<	<
RF		n.s.	>	RF		n.s.	n.s.
LN			>	LN			n.s.

狭窄なし				狭窄あり			
表示形式: ズーム							
	1.1°	1.7°	2.6°		1.1°	1.7°	2.6°
0.7°	n.s.	n.s.	>	0.7°	>	>	>
1.1°		n.s.	>	1.1°		n.s.	>
1.7°			>	1.7°			>
表示形式: リフロー							
	1.1°	1.7°	2.6°		1.1°	1.7°	2.6°
0.7°				0.7°	n.s.	n.s.	>
1.1°	5%水準での単純主効果なし			1.1°		n.s.	>
1.7°				1.7°			>
表示形式: リニア							
	1.1°	1.7°	2.6°		1.1°	1.7°	2.6°
0.7°				0.7°	n.s.	n.s.	>
1.1°	5%水準での単純主効果なし			1.1°		n.s.	n.s.
1.7°				1.7°			n.s.
表示形式: 切片化							
	1.1°	1.7°	2.6°		1.1°	1.7°	2.6°
0.7°				0.7°			
1.1°	5%水準での単純主効果なし			1.1°		5%水準での単純主効果なし	
1.7°				1.7°			

< 及び > は5%水準の有意差を示す, n.s. は有意差なしを示す ZM:ズーム, RF:リフロー, LN:リニア, SP:切片化

表5 「狭窄あり」の記述統計量 (n=14)

	文字サイズ			
	0.7°	1.1°	1.7°	2.6°
ズーム	450.0	377.8	365.2	304.8
	97.6	45.5	71.3	49.0
リフロー	443.0	416.5	422.9	363.6
	91.2	75.3	88.9	72.3
リニア	441.3	431.3	437.6	383.0
	80.0	55.4	89.2	81.7
切片化	416.8	398.1	416.3	382.1
	99.6	63.4	87.9	108.9

上段が平均値, 下段が不偏標準偏差

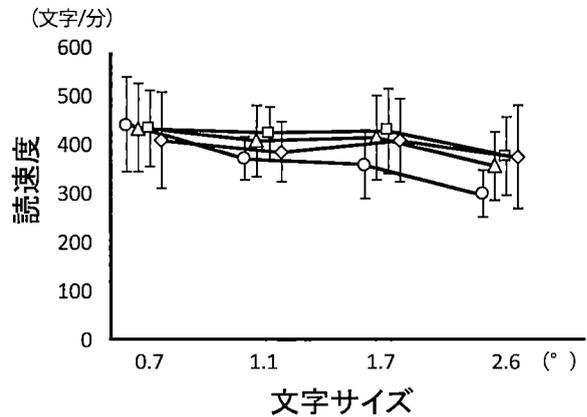


図3 「狭窄あり」の結果

狭窄あり条件の読速度の結果を示した折れ線グラフ。縦軸は読速度 (文字/分, CPM), 横軸は文字サイズを示す。○:ズーム (ZM), △:リフロー (RF), □:リニア (LN), ◇:切片化 (SP) をあらわす。縦棒は不偏標準偏差を示す。

表6 単純主効果の結果 (狭窄あり)

	自由度 1	自由度 2	F	P	$\eta^2$
0.7° における表示形式の単純主効果	3	39	4.03	0.014	0.002
1.1° における表示形式の単純主効果	3	39	12.58	0.000	0.005
1.7° における表示形式の単純主効果	3	39	16.41	0.000	0.008
2.6° における表示形式の単純主効果	3	39	10.01	0.000	0.011
ズーム形式における文字サイズの単純主効果	3	39	21.1	0.000	0.030
リフロー形式における文字サイズの単純主効果	3	39	7.55	0.000	0.010
リニア形式における文字サイズの単純主効果	3	39	0.48	0.025	0.006
切片化形式における文字サイズの単純主効果	3	39	1.32	0.282	0.003

(F(9, 117) = 9.209, p=0.000,  $\eta^2=0.035$ )。有意な交互作用が認められたため、単純主効果について検討した (表6)。有意差のみられた条件について Holm の多重比較による下位検定を行った (表4)。各文字サイズ条件における表示形式の単純主効果について述べる。文字サイズ 0.7° 条件における表示形式の大小関係は、ズーム > 切片化のみであった (5%水準)。文字サイズ 1.1° 条件, 1.7° 条件, 2.6° 条件における表示形式の大小関係は、リフロー・リニア・切片化 > ズームであった (5%水準)。

表示形式の各条件における文字サイズで単純主効果がみられたのは、ズーム形式・リフロー形式およびリニア形式であった (表6)。ズーム形式では、0.7° > 1.1°・1.7°・2.6°, 1.1°・1.7° > 2.6° であった (表4)。リフロー形式では、0.7°・1.1°・1.7° > 2.6° であった。リニア形式では、0.7° > 2.6° であった。

4. 読速度比

狭窄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」の式にあてはめ、「読速度比」を算出した。14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「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。結果を図4に示した。各表示形式 (4条件) および文字サイズ (4条件) の16条件で 1×3 の  $\chi^2$  検定を行った。ズーム形式では 1.1° ( $\chi^2(2)=10.858, p<0.01$ ), 1.7° ( $\chi^2(2)=6.143, p<0.05$ ), 2.6° ( $\chi^2(2)=13.001, p<0.05$ ) 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、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 ( $\alpha=0.05$ ), 1.7° では有意ではなかった。リフロー形式では 2.6° ( $\chi^2(2)=10.858, p<0.05$ ) 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 ( $\alpha=0.05$ )。

考 按

デジタル・リーディングにおける四つの表示形式と四つの文字サイズが読速度に与える影響を、視野狭窄シミュレーションを施さない「狭窄なし」条件と、シミュレー

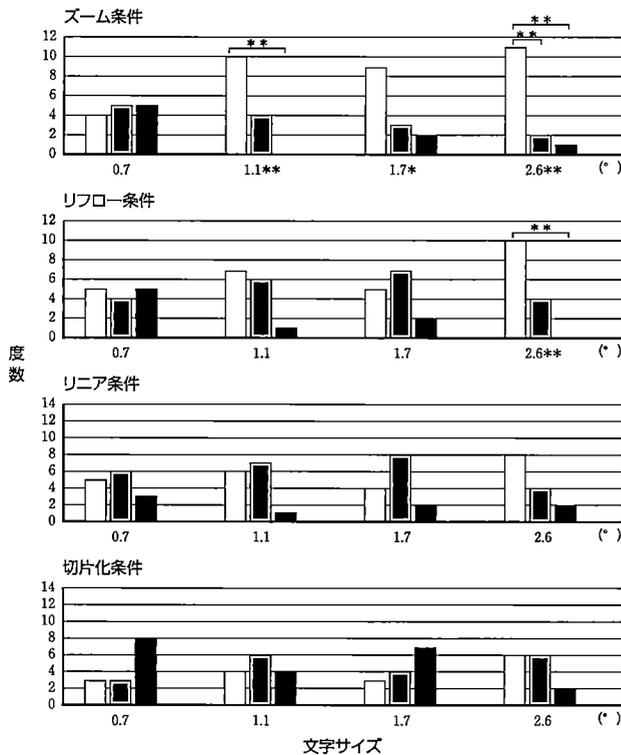


図4 「読速度比」の結果 (n=14)

■: 平均値±1SD, □: 平均値-1SD未滿 (狭窄あり<なし), ■: 平均値+1SDより大きい値 (狭窄あり>なし)を示す。

\*p<0.05, \*\* p<0.01

ションを施した「狭窄あり」条件とで検討した。

実験協力者の語彙力推定テストの結果は、28,887~49,900語であった。語彙力の推定方法が異なるため、あくまでも参考値ではあるが、「図説日本語」では2~4万語が中学レベルとされている (<http://www.kecl.ntt.co.jp/cgi-bin/goitokusei/log-new3.cgi>)。今回利用した刺激文は中学校の教科書を利用していたため、実験協力者の語彙力は本実験に参加するのに妥当であったと解釈した。

基準データの結果より、「狭窄なし」条件は順序効果がみられた。本実験では順序効果を相殺するために文字サイズの順序をランダム化し、各文字サイズ条件のなかで表示形式条件をランダム化して順序を割り振った。よって、試行回数ではなく、文字サイズ別に基準データを分析した結果、文字サイズ要因の効果は有意でなかった。このことから、文字サイズをランダムに割り当てたことにより、文字サイズへの順序効果は抑制できたものと考えられる。

「狭窄なし」条件・「狭窄あり」条件において、四つすべての文字サイズでリフローとリニア間に読速度の有意差5%以下の差がみられなかった。リフローとリニアの操作上の共通点は、リフローは上下スクロールのみ<sup>3)</sup>、リニアは左右スクロールのみ<sup>5)</sup>と、どちらも読み進めるのに、縦か横のみの一方のスクロールで操作可能な点である。相違点は、

リフローは画面幅の視線の移動を要するのに対し、リニアは文字を動かして視野内に入れることができるためリフローほど視線の移動を要さない点である<sup>5, 8)</sup>。リフロー条件での実験協力者の内省報告には「視野に文字を送り込んで読む。」と答えた者がいた。今回の実験で設定された文字サイズの範囲ではリフローの際の視線の移動の効果が読速度を下げるほどの影響をもたなかったことがリフローとリニアの間に有意差が生じなかった理由であると考えられる。本実験の視野狭窄は半径5°、最大の文字サイズは2.6°であるため、「狭窄あり」条件において、最大の文字サイズ条件で視界に4文字入る状態であった。視界に入る文字が6文字を低下すると停留時間の延長が認められるといった報告がある<sup>9)</sup>が、今回の条件では、リフローでの視線移動がリニアよりも読速度を低下させるほど影響を及ぼさなかったものと考えられる。

「狭窄なし」におけるズーム条件では、文字サイズ0.7°・1.1°ではリフローとの間に読速度の有意差はないが、1.7°・2.6°ではリフローよりも遅かった。「狭窄あり」では、1.1°以上でリフローよりもズームの読速度が遅かった。ズームとリニア間での読速度の有意差は「狭窄なし」「狭窄あり」の両方で、0.7°ではズームの読速度との間に有意差がみられず、1.1°・1.7°・2.6°ではリニアよりもズームの読速度が遅かった。ズームは0.7°では横スクロールは不要だが、1.1°以上では横スクロールによる行の行き来のスクロール操作を要し、文字の拡大に応じてその距離は長くなる。この点でリフローやリニアのような一方のスクロール条件よりも不利になる<sup>3)</sup>。しかし、その影響の受け方は、「狭窄なし」では、リニアよりもリフローの方が小さい文字サイズからあられ、「狭窄あり」では、同じ文字サイズからあられた。これは、リフローは上下スクロールを伴う点と、画面幅一杯に視線を動かす必要があるのに対し、リニアは文字を横一直線に動かし視線の移動幅をリフローほど大きくする必要がない点でリフローよりもリニアの方が文字サイズの拡大に対して効率を上げられたことが考えられる。先行研究では、実際にリニア表示の眼球運動を測定し、左右を往復する眼球運動がほとんど生起していないことが確認されている<sup>9)</sup>。また、拡大読書器を利用して横一直線に文字列を自動で動かして読書した場合、視運動性眼振がみられるとの報告もされている<sup>8)</sup>。今回の実験においても、リニア表示は視運動性眼振を用いていたことが考えられるため、リフローが画面幅一杯に眼球を動かすのに比して、リニアはそこまでの振幅はなかったものと考えられる。0.7°から1.1°に文字が拡大された際、ズーム形式では狭窄なしでは狭窄ありほどの読速度低下がみられていない。それは、ズーム条件における文字サイズの単純主効果で、狭窄なしでは0.7°と1.1°に有意差がないのに対し、狭窄ありでは、1.1°は0.7°の読速度より遅いことから支持される。しかし、ズーム形式の読速度は狭窄なし条件においても0.7°から

1.1°で若干の低下はみられており、それが、リニア形式とズーム形式の読速度に先に有意差となってあらわれたと考えられる。狭窄あり条件の場合は、ズーム形式で読書する場合に狭い視野で一行を読み、行頭へのバックスクロールの際は狭い視野で行を追視するといった点で狭窄なし条件よりも負荷が大きい。その影響が、狭窄あり条件でのズーム形式のときの $0.7^\circ > 1.1^\circ$ の読速度の有意差となり、 $0.7^\circ$ から $1.1^\circ$ に文字サイズが拡大した際、リフロー形式とリニア形式の両方よりもズーム形式の読速度が有意に低下した原因であると考えられる。その際、リニア形式は狭窄あり、狭窄なしのどちらの条件においても、視運動性眼振で読書をしており、 $1.1^\circ$ 程度の拡大では視野の狭窄の影響を受けにくかったことが、狭窄なし条件で文字サイズ $1.1^\circ$ においてズームとリフロー形式の読速度に有意差をもたらさなかったことも考えられる。 $1.1^\circ$ というサイズは本研究で設定した条件の一つなので、絶対値で捉えることは避けなければいけないが、ズーム、リフロー、リニアの各形式が読速度に与える定性的効果は、狭窄ありと狭窄なしとの間では異なった性質でみられるものと考えられる。

切片化形式は、「狭窄なし」では、すべての文字サイズにおいてリフローとリニアよりも読速度が遅く、「狭窄あり」では、すべての文字サイズにおいてリフローとリニアの読速度との間に有意差はみられなかった。切片化形式は文字の表示を更新するのにタップを行う必要があることと、文節が断片化されることの二点が読速度を低下させる原因であると考えられる。「狭窄なし」において、リフローとリニアよりも一貫して切片化形式の読速度が遅かったのは、これらの影響があらわれた結果であると考えられる。ESPはRSVPと比較して、LVの低速読者には読速度を速くする点で有効であり、高速読者にとってESPはRSVPと比較して、読速度に抑制的に作用するといった報告がある<sup>6)</sup>。本実験の読者は $0.7^\circ$ のズーム形式が400CPM前後と比較的速い読者であったため、4種類の表示形式のなかの一つとして切片化は低速度で安定し、本実験で設定した文字サイズの幅においては文字サイズが読速度に影響を及ぼさなかったことが考えられる。これに対して、「狭窄あり」ではリフロー・リニア・切片化の形式間の読速度に有意差がみられなかった。これは、視野狭窄状態となり、視野に収まる文字数が制限されることにより、リフローやリニアにおいて視界に断片的に文字が入る状態となり、切片化形式に近い読みにくさが影響したためと考えられる。 $0.7^\circ$ 条件で切片化形式がズーム形式よりも読速度が遅くなっているが、そもそも $0.7^\circ$ 条件での表示形式の単純主効果の効果量は0.002である(表6)。Cohenの規準によれば、 $\eta^2$ は0.01で小さい効果量である<sup>10)</sup>ため、それと比較するととても小さい値である。そのため、この単純主効果は無視できるという考え方も可能である。そう解釈するならば、 $0.7^\circ$ の文字サイズにおいて、ズーム・リフロー・リニア形式では視界に入る文字数

が十数文字に制限され、それが切片化と同じような読みにくさを生じたため、同等の読速度であったと考えられる。文字サイズが拡大され $1.1^\circ$ 以上になると、ズーム条件においては、横スクロール操作を必要とし、それ以降、文字拡大とともにその影響が大きくなり、ズーム条件のみにおいて読速度が低下していったと考えられる。

各表示形式における文字サイズの単純主効果は、狭窄なし条件では、ズーム形式で $2.6^\circ$ が $0.7^\circ \cdot 1.1^\circ \cdot 1.7^\circ$ より遅かった。狭窄あり条件では、ズーム形式では狭窄なし条件に加え、 $0.7^\circ$ よりも $1.1^\circ \cdot 1.7^\circ$ の間においても読速度が低下した。このことは、ズーム形式における視野狭窄の影響が、狭窄なしよりもより小さい文字の拡大から生じていることをあらわす結果であり、表示形式の単純主効果と一致する結果である。更に、狭窄あり条件では、リフロー形式において $2.6^\circ$ 条件は $0.7^\circ \cdot 1.1^\circ \cdot 1.7^\circ$ よりも読速度が有意に遅く、リニア形式では $0.7^\circ$ よりも $2.6^\circ$ で読速度が有意に遅かった。どちらの表示形式も読書時にサッケードを要する表示形式であり、文字の拡大により視線を動かす量が増加し、同時に視界に入る文字数が相対的に減少することが理由であると考えられる。 $0.7^\circ$ 条件で表示形式の単純主効果の効果量がとても低いことから、その理由は支持される。

読速度比の結果は、ズーム形式では $1.1^\circ \cdot 1.7^\circ \cdot 2.6^\circ$ で、リフロー形式では $2.6^\circ$ で、不変群、狭窄なし優位群、狭窄あり優位群の割合に偏りがあるという結果であった。下位検定では、ズーム形式では $1.1^\circ \cdot 2.6^\circ$ 、リフロー形式では $2.6^\circ$ で、狭窄なし優位群が狭窄あり優位群より割合が大きい結果となった。このことは、表示形式の単純主効果で、より小さな文字サイズから狭窄あり条件でリフロー形式よりズーム形式の方が読速度が低下したことや、文字サイズの単純主効果では、ズーム形式で狭窄あり条件の方がより多くの文字サイズで有意差がみられたり、リフロー条件でも文字サイズの単純主効果が有意であったことと一貫している。その理由は前掲のとおりであるが、ズーム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、狭窄あり条件でより大きく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リフロー形式で、リフロー形式も横スクロールはないものの、画面一杯の眼球運動および視線の改行運動(return sweep)はリニア形式や切片化形式にはみられない負荷であり、それが狭窄あり条件で影響したものと考えられる。

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四つの条件についての解釈である点と、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。

狭窄がある場合と狭窄がない場合の両方の条件で、文字サイズと表示形式は読速度に影響を及ぼす。

ズーム形式は、「狭窄なし」、「狭窄あり」の両条件で、文

字拡大により読速度は低下するが、狭窄あり条件の方がより小さな文字拡大からその影響がみられる。

リフロー形式とリニア形式は、「狭窄なし」と「狭窄あり」の両条件で読速度に有意差がみられない。

切片化形式は、「狭窄なし」においては、リフロー・リニアの両条件より読速度が遅く低速で安定しているが、「狭窄あり」においては、リフロー・リニアの両条件との間に読速度の有意差がみられない。このことは、 $0.7^{\circ}$ ～ $2.6^{\circ}$ の文字サイズで文字サイズの影響を受けない。

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、四つの表示形式のなかではズーム形式が最も強く、次いでリフロー形式である。

本研究では、視野が正常な状態と、半径 $5^{\circ}$ の狭窄状態とで比較していることと、文字サイズは $0.7^{\circ}$ から $2.6^{\circ}$ の4段階であるため定量的な結果の解釈は行えず、あくまでも定性的な解釈にとどめる必要がある。 $5^{\circ}$ という一つの視野狭窄状態についてシミュレーションし、その有無の条件を設定して読速度への影響を検討した。その結果、上記のことが明らかとなった。今後は、視野狭窄のバリエーションを増やし、表示形式と文字サイズの影響をより定量的にすることと、実際のロービジョン当事者を実験参加者とした検証実験を実施することを通して、より視野狭窄の状態に最適化されたデジタル・リーディングの環境設定を検討していく必要がある。

#### 謝 辞

本研究は、JSPS 科研費、基盤研究 (C)、課題番号 15K04560 の助成を受けた。

利益相反：利益相反基準に該当なし

#### 文 献

- 1) 氏間和仁, 村田健史: 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, 2000.
- 2) 氏間和仁, 小田浩一: 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.
- 3) 氏間和仁: 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, 2000.
- 4) Crossland MD, Macedo AF & Rubin GS: Electronic books as low vision aids. Br J Ophthalmol 94: 1109, 2010.
- 5) Walker R: An iPad app as low-vision aid for people with macular disease. Br J Ophthalmol 97: 110-112, 2013.
- 6) Aries A: Elicited sequential presentation for low vision reading. Vision Res 39: 4412-4418, 1999.
- 7) Rubin G & Turano K: Low vision reading with sequential word presentation. Vision Res 34: 1723-1733, 1994.
- 8) Legge GE, Pelli DG et al: Psychophysics of reading I. Normal vision. Vision Res 25: 239-252, 1985.
- 9) Osaka N & Oda K: Effective visual field size necessary for vertical reading during Japanese text processing. Bulletin of the Psychonomic Society 29: 345-347, 1991.
- 10) 岡田謙介: 伝えるための心理統計. 勁草書房, 東京, 2012.

(2016 年 3 月 29 日受付)

---

発行所 日本眼科紀要会

567-0047 茨木市美穂ヶ丘 3-6 山本ビル 302 号室 ☎072-623-7878

---