

文字サイズが音読潜時に及ぼす影響 ーロービジョンシミュレーションによる検討ー

氏 間 和 仁

福岡教育大学障害児教育講座

小 田 浩 一

東京女子大学コミュニケーション学科

眼	紀
---	---

<i>Folia Ophthalmol Jpn</i>

文字サイズが音読潜時に及ぼす影響

—ロービジョンシミュレーションによる検討—

氏間 和仁

福岡教育大学障害児教育講座

小田 浩一

東京女子大学コミュニケーション学科

Effect of Character Size on Latencies in Reading

— Evaluation Using Low-Vision Simulation —

Kazuhito Ujima

Department of Special Education, Fukuoka University of Education

Koichi Oda

Department of Communication, Tokyo Women's Christian University

目的：臨界文字サイズ（critical print size, CPS）前後で読書速度が大きく変化する要因として、単語認識時間に着目し、単語認識時間に及ぼす視力と文字サイズの影響を調べる。

方法：単語認識時間の指標として、音読潜時を計測した。音読潜時を従属変数とし、視力（晴眼状態とシミュレーテッドロービジョン状態）および文字サイズ（CPS 前後の5サイズ）を2要因とする要因計画法を用いた。

結果：分散分析の結果、視力は有意な効果を示さず文字サイズが有意な効果を示した。多重比較の結果、CPS未達のサイズの文字で音読潜時が延長していた。

結論：CPS未達のサイズの文字で音読潜時が延長したことは、それらのサイズの文字では prolonged viewing が起こることを示す。CPS未達のサイズの文字で読書速度が低下する一因が、単語認識時間の延長であることが示された。

(眼 紀 58: 274-278, 2007)

キーワード：音読潜時、読書速度、ロービジョン

Purpose : To investigate the hypothesis that an increase in word recognition latency is a factor affecting the remarkable decrease in reading speed as the character size becomes smaller than the critical print size (CPS).

Methods : Oral reading latency (the dependent variable), a surrogate for word recognition latency, was measured under normal conditions and under conditions simulating clouding due to cataract for 5 character sizes (the CPS, 2 character sizes larger than the CPS, and 2 character sizes smaller than the CPS).

Results : Analysis of variance (ANOVA) showed that although reading latencies were longer under simulated low-vision conditions than under normal vision condition, character size, but not visual acuity, had the main effect.

Conclusions : In this study, reading latencies were longer for print smaller than the CPS, which we showed could be explained by a longer viewing time for smaller print. The longer time required for recognition of each word explains the slower reading speed.

(Folia Ophthalmol Jpn 58: 274-278, 2007)

Key Words : Reading Latencies, Reading Rate, Low Vision

緒 言

一般的に文字の大きさを操作して読書したとき、ある大きさの範囲で読書速度が安定する。このときの読書速度の

平均値を最大読書速度（maximum reading speed 以下 MRS）とし、MRS で読める最小の文字サイズを臨界文字サイズ（critical print size 以下 CPS）とし、更に文字サイズを小さくしたときにぎりぎりで読める文字の大きさを読書視力（reading acuity 以下 RA）とし、これらの値を読書プロファ

イルとした研究が行われている^{1,2)}。臨床で CPS や MRS, RA を求める読書テストが開発され³⁻⁵⁾、その結果を参考にした読書の支援がロービジョンの人々のリハビリテーションや教育において行われ、成果を挙げている^{6,7)}。

ロービジョン者の読書速度に関する研究では⁸⁾ コントラスト低下による影響が要因の一つとして大きく、Shrinking Visual Span 仮説や Prolonged Viewing 仮説で説明されている。後者は word-recognition time (以下 単語認識時間) の延長を読書速度低下の根拠にしている。

日常的に、小さい文字を見る場合、大きい文字と比べて文字を認識するのに時間を要するようになることを経験する。この場合も単語認識時間の延長がかかわっていると考えられる。このことはロービジョンの状態においても同様であると考えられる。アルファベットの研究によると、読書速度に影響を与えるローパスフィルターの臨界の帯域が 2 cycles/character であることが指摘されている⁹⁾。しかし、日本語は文字の構造の複雑さが多様であり、臨界の帯域も多様であると思われる。これらのことから、バンガーターフィルター⁹⁾を用いたロービジョンのシミュレーション条件とバンガーターフィルターを利用しない条件とを設定して、文字サイズを操作しながら単語認識時間を測定することにより、ロービジョン状態の読書速度の低下の特性の一つについても検討できると考えた。また、文字サイズを操作しながら単語認識時間を測定した研究は見当たらず、この点のデータが得られる点でも意義があると思われる。

本研究では単語認識時間を音読潜時で捉える。これは次の理由からである。音読潜時は文字が提示され、入力・処理・表出の過程を経て音読されるまでの過程¹⁰⁾に要する時間である。文字の大きさを操作しながら音読潜時を測定したとき、例えば CPS を下回るほどに文字が小さくなると音読潜時が延長することが予想される。実験中、処理や表出の過程に大きな変化があらわれることは考えにくいので、音読潜時の延長は入力・処理・表出のうち、入力の過程の延長、すなわち単語認識時間の延長を反映していると考えられる。

1. 実験の概要

視力 (2 水準)、文字の大きさ (5 水準) による 2 要因 (2×5) の被験者内要因計画法による実験である。

視力の要因はバンガーターフィルターをつけないフィルターなし条件とバンガーターフィルターを付けるフィルター条件の 2 水準とした。フィルターなし条件ではシミュレーションゴーグルにガラス板を挿入し、フィルター条件ではそのガラス板にバンガーターフィルター (0.1 の Occlusion Foil フィルター) を貼付した。両条件でゴーグルをかけたのは視野の影響を排除するためである。

バンガーターフィルターの本来の目的は弱視治療であり、数字は統制する小数視力値を示している。バンガーターフィルターはロービジョン状態をシミュレーションするのに有

効であることが示されていることから¹¹⁾、バンガーターフィルターを使用した。シミュレーション下での読書は、ロービジョンの状態では生活してきた人の状態や個々の視覚特性を正確に反映できない点で問題があるが、視覚の状態を統制し、読書に及ぼす影響を明らかにするための有効な手段の一つである。

文字サイズの要因は、CPS を基準条件 (以下 CPS 条件) とし、それよりも 0.1 log 大きい条件を +0.1 条件、0.2 log 大きい条件を +0.2 条件、0.1 log 小さい条件を -0.1 条件、0.2 log 小さい条件を -0.2 条件の 5 水準とした。文字サイズの規定方法は小田ら¹²⁾に準じた。書体は MNREAD-J テストと同様の明朝体を用いた。

刺激は、ひらがなは「あつ、いん、うえ、えい、おう」、構造が単純な漢字 (以下 単漢字) は「圧、引、上、永、王」、構造が複雑な漢字 (以下 複漢字) は「篤、陰、植、営、横」を用いた。単漢字のストローク数の平均値は 5.2、複漢字のストローク数の平均値は 15.0 であった。ストロークの求め方は梶原らの研究¹³⁾を参考にした。

都築¹⁴⁾は音読潜時を測定する際、測定値の分散は音の種類によって変化することを波形視察から明らかにしている。同時に音読潜時を測定する際、条件間で語頭の種類をそろえることの必要性を指摘している。一方、ひらがなと漢字の処理過程は異なることが指摘されており^{15,16)} 音読潜時への影響も実験的に明らかにされている¹⁷⁾。本研究は視力の状態や文字サイズが単語認識時間に与える影響を明らかにすることを目的とし、独立変数を音読潜時としていることから、刺激文字の大きさ以外の要因や刺激の文字の間の影響を排除するため、刺激で用いる単語は、1) 語頭を母音にすることで音読潜時計測の誤差の要因を減らし、2) 文字構造の複雑さの水準間で用いる音素を同じにすることで構音過程の要因を排除し、3) 条件間で同じ音素のひらがなと漢字を用いることでひらがなと漢字の処理過程の要因を排除するように設定した。

2. 実験の手続き

実験協力者はインフォームドコンセントを受け、文書に署名した視力 1.0 以上の大学生 3 名 (男 1 名、女 2 名、平均年齢 23 歳) であった。実験前に MNREAD-J テストで CPS と MRS を、近距離視力表を用いた実験距離で視力を求め、刺激文字を提示しながらリハーサルを行った。視距離はフィルターなし条件が 3.2m、フィルター条件が 0.4m であった。実験協力者の前額部は台で固定された。

刺激は Windows のパーソナルコンピュータにあらかじめプログラミングされ、17 inch 液晶ディスプレイ (解像度 1,024×768 ドット、応答速度 8 msec) と、リフレッシュレート 75Hz のグラフィックカードで提示された。背景の平均輝度は 158.4 cd/m²、文字の平均輝度は 1.9 cd/m² で、コントラストは 97.6% であった。液晶ディスプレイとグラフィックカードがもつ表示の遅れの特性をできるだけ排除するた

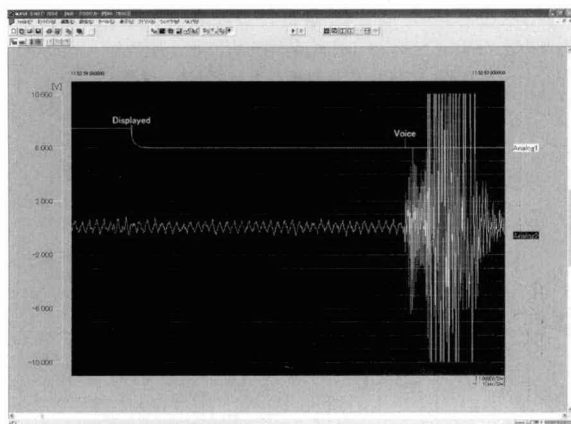


図1 音読潜時の測定時の波形
音読潜時とディスプレイの状態を記録した波形。上の波形がディスプレイの表示状態をあらわし、下の波形が音声の状態をあらわしている。Displayed から Voice までを計測して音読潜時とした。

表1 実験協力者のプロフィール

実験協力者	フィルターなし条件			フィルター条件		
	V.A.	MRS	CPS	V.A.	MRS	CPS
A	1.1	486.2	0.5	0.13	446.4	1.20
B	1.1	414.6	0.3	0.13	372.2	1.10
C	1.6	336.1	0.2	0.13	343.7	1.05

3名の実験協力者の視力要因別の小数視力 (VA), 最大読書速度 (MRS), 臨界文字サイズ (CPS)。

MRSの単位は CPM (characters per minute), CPSの単位は logMAR

表2 音読潜時の結果

視力 文字サイズ	フィルターなし条件					フィルター条件				
	-0.2	-0.1	CPS	+0.1	+0.2	-0.2	-0.1	CPS	+0.1	+0.2
平均値	776.4	626.7	614.9	543.6	584.8	933.2	829.9	758.7	671.6	567.4
標準偏差	114.9	43.2	54.4	60.0	22.6	223.3	235.7	182.7	140.9	23.9

視力要因, 文字サイズ要因の各水準の音読潜時の平均値と標準偏差の値 (n=3)

め、画面の輝度を光センサーで検出し、その電圧変化を記録することでディスプレイの表示状態を捉えた。音声はマイクロフォンで検出し、その電圧変化を記録することで刺激提示から実験協力者の音声出力までの時間を記録した。

液晶ディスプレイの輝度と音声を KEYENCE 製データレコーダ NR2000 (最大時間分解能 $1\mu\text{sec}$) で記録した。データレコーダのサンプリング間隔は 1 msec であった。音読潜時の測定時の波形を図1に示した。ディスプレイ表示の閾値は 7V とし、音読潜時の閾値は 1V とした。それぞれ予備実験より最も敏感であることと、ノイズの影響を受けないことを両立する値を設定した。

音読潜時の計測は文字構造の複雑さごとに実施され、5種類の刺激が提示されると、文字サイズは 0.1 log UNIT 小さくなった。刺激は、注視点「●」を 0.5 秒間、刺激文字を 2 秒間、マスキング刺激「■」(ひらがなでは「■■」)を 0.5 秒間提示した。視力の条件、文字の種類はランダムに配した。

結 果

実験協力者の小数視力値と MRS, CPS の結果を表1に示した。視力を独立変数, MRS を従属変数にした分散分析の結果, 視力条件の効果はみられなかった ($F(1, 2)=7.8, p>$

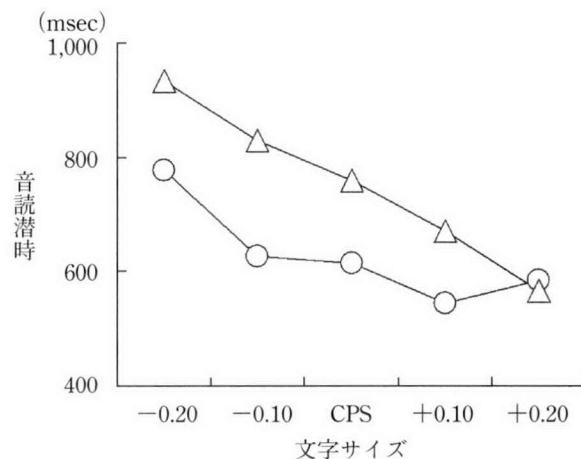


図2 音読潜時の結果 (n=3)
横軸が文字サイズ, 縦軸が音読潜時 (msec)。フィルターなし条件, フィルター条件ともに文字の縮小に伴って音読潜時が延長しているが, フィルター条件に比べフィルターなし条件の方が緩やかである。
CPS: 臨界文字サイズ
—○—: フィルターなし, —△—: フィルター

0.10)。視力を独立変数, CPS を従属変数とした分散分析の結果, 視力の効果は有意であった ($F(1, 2)=157.2, p<0.01$)。

表2には音読潜時の平均値と標準偏差の値を示し, 平均値を図2に示した。音読潜時は15文字 (5文字×3種類)

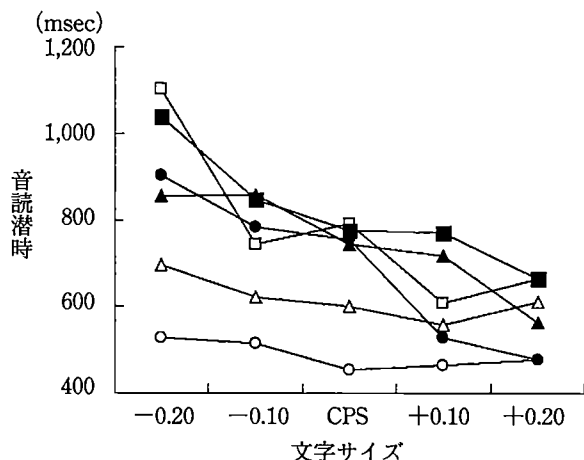


図3. 文字の種類別の音読潜時 (n=3)

横軸が文字サイズ、縦軸が音読潜時 (msec)。すべてにおいて文字の縮小に伴って音読潜時の延長を確認できるが、フィルターなし条件の、かな条件と単漢字条件は他の文字の種類に比べて音読潜時の延長が緩やかである。

- : フィルターなし かな
- △ : フィルターなし 単漢字
- : フィルターなし 複漢字
- : フィルター かな
- ▲ : フィルター 単漢字
- : フィルター 複漢字

分の値を各実験協力者内で平均して扱った。視力条件 (2水準) と文字サイズ条件 (5水準) の分散分析の結果、交互作用はみられなかった。視力条件は主効果を示さず ($F(2, 1) = 1.8, p > 0.1$)、文字サイズは主効果を示した ($F(4, 8) = 6.3, p < 0.05$)。

Least Significant Difference (LSD) 法による多重比較の結果、文字の効果は -0.2 条件 $>$ CPS 条件、 -0.2 条件 $>$ $+0.1$ 条件、 -0.2 条件 $>$ $+0.2$ 条件、 -0.1 条件 $>$ $+0.2$ 条件であった ($MSe = 11513.9, p < 0.05$)。

文字の種類別の結果を図3に示した。

考 察

本研究は、フィルター条件とフィルターなし条件で文字の大きさを操作し、音読潜時を用いて単語認識時間を測定し、読書速度の低下の要因にせまることを目的としている。

CPSにおける視力の効果がみられ、シミュレーション条件で有意に高値を示した ($p < 0.01$)。このことは、統制²⁾が適切に行えていることを示している。

註：独立変数以外の従属変数に影響する要因が存在します。この変数は二次変数ないし剰余変数といわれますが、この変数が実験結果に影響しないように条件を制限することを指します。ですので条件統制ということもあるようです。

今回の場合は、視力の条件の制限がうまくいったことを指しています。

MRSにおける視力の効果はみられなかった。視力が読書

になんらかの影響を与えることは知られているが、読書速度の唯一の説明変数ではないという主張¹⁸⁾と一貫する結果であった。

音読潜時における文字サイズの効果は有意であった ($p < 0.05$)。文字サイズが単語認識時間になんらかの影響を与えていることを示している。多重比較の結果、 -0.2 条件は、CPSよりも大きな文字サイズ条件より有意に音読潜時が延長していた。 $+0.2$ 条件から CPS 条件までは安定して単語認識が行われるが、CPSを下回ると単語認識時間が延長することを示しており、文字の縮小は単語認識時間を延長させていることが考えられる。Leggeら⁸⁾は文字をぼやかしたときの単語認識時間の延長を、視線の停留時間の延長により明らかにしている。同研究では読書速度の低下の理由を、Shrinking Visual Span 仮説と Prolonged Viewing 仮説で説明している。Shrinking Visual Span 仮説は視覚的注意範囲の狭小化を指しており、Prolonged Viewing 仮説では単語認識時間の延長を指している。本実験の結果は文字サイズの縮小においても単語認識時間の延長が起こることを示していると考えられる。すなわち Prolonged Viewing 仮説と同様の事態が CPS 未満の文字サイズにおいても起こっている可能性を示唆する結果となった。また、 -0.1 条件と CPS 条件の間に有意差がみられなかったことから、文字サイズが CPS を $0.1 \log$ 下回った程度では、音読潜時は有意差を見出すほど延長しないことも示している。

今回用いた CPS は MNREAD-J テストで測定された。MNREAD-J テストでは30文字で構成された文の速読が行われる。同テストにおいて -0.1 条件で読書速度が有意に低下するのは、文字を認識するときのわずかな音読潜時の延長が、1文読む間に累積することが影響していると考えられる。 -0.1 条件のこのわずかな音読潜時の延長は、 -0.1 条件と $+0.2$ 条件との間の有意差が示している。

フィルター条件とフィルターなし条件が単語認識時間に及ぼす影響であるが、視力の主効果がみられなかったが、図2からフィルター条件ではフィルターなし条件よりも大きな文字サイズから音読潜時の延長が生じてるように読み取れる。MNREAD-J を利用した実践研究¹⁹⁾は CPS よりも $0.1 \sim 0.2 \log$ 程度大きな文字による教材を選択するロービジョンの学生の存在を指摘している。本実験で認められた $+0.1$ 条件から延長をはじめめる音読潜時の結果と一貫しており、このあたりにロービジョンの読書の特徴の一つを見出すことができよう。

更に、図3に示したグラフではフィルターなし条件のひらがなや単漢字の音読潜時は CPS より小さな文字で、複漢字条件と比べ緩やかな延長を示している。それに対して、フィルター条件ではすべての文字の種類において同様の音読潜時の延長を示している。このことは CPS 未満の大きさの文字の認識の点で、フィルター条件とフィルターなし条件の間に相違を含んでいる可能性を示している。

この点については、今回のデータだけで考察をすすめるのには限界がある。今後これらの点を明らかにすることにより、CPSを用いてロービジョンの人を対象にした教育やリハビリテーションを行う際の配慮事項を、科学的根拠をもって示せるようになる可能性があると考えられる。

文 献

- 1) Chung ST, Mansfield JS et al : Psychophysics of reading. XVIII The effect of print size on reading speed in normal peripheral vision. *Vision Res* 38 : 2949-2962, 1998.
- 2) Arditi A & Cho J : Serifs and font legibility. *Vision Res* 45 : 2926-2933, 2005.
- 3) Legge GE, Ross JA et al : Psychophysics of reading. VIII The Minnesota low-vision reading test. *Optometry and Vision Science* 66 : 843-853, 1989.
- 4) 小田浩一, Mansfield JS 他 : ロービジョンエイドを処方するための新しい読書検査表 MNREAD-J. 第7回視覚障害リハビリテーション研究発表大会論文集 157-160, 1998.
- 5) 中村仁美, 小田浩一 : 平仮名单語を用いた読書チャートMNREAD-Jk. 第8回視覚障害リハビリテーション研究発表大会論文集 105-108, 1999.
- 6) 新井千賀子, 中村仁美 他 : 白子症と先天無虹彩における羞明とコントラストボラリティ効果—MNREAD-J, Jk による評価. 第8回視覚障害リハビリテーション研究発表大会論文集 57-60, 1999.
- 7) 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.
- 8) Legge GE, Ahn SJ et al : Psychophysics of reading. XVI The visual span in normal and low vision. *Vision Res* 37 : 1999-2010, 1997.
- 9) Legge GE & Pelli DG : Psychophysics of reading. I Normal vision. *Vision Res* 25 : 239-252, 1985.
- 10) Howard D : Letter-by-letter readers : Evidence for parallel processing. In : Besner D ed, *Basic Processes in Reading: Visual Word Recognition*, 35, Lawrence Erlbaum Associates Inc., Publishers, New Jersey, 1991.
- 11) 鶴飼一彦, 波呂栄子 : パンガーターフィルターによるコントラスト感度の低下. *Vision* 4 : 71-72, 1992.
- 12) 小田浩一, 今橋真理子 : 文字認知の閾値と読みの閾値. *Vision* 7 : 1-4, 1985.
- 13) 梶原直樹, 和氣典二 他 : 視覚探索における文字属性と加齢の効果. *Vision* 13 : 149-162, 2001.
- 14) 都築啓史 : 音読データの音素レベルにおける分析—認知心理学における音読潜時測定の問題—, *応用社会学研究* 14 : 51-57, 1999.
- 15) Yamada J : The time course of semantic and phonological access in naming kanji and kana words. *Reading and Writing* 10 : 425-437, 1998.
- 16) 笹沼澄子 : 脳損傷に起因する読みの障害—言語病理学的立場から—, 戸田正直, 東 洋他編, *読むということ*, 東京大学出版会, 175-208, 東京, 1987.
- 17) 杉島一郎, 浮田 潤 他 : 日本語の表記頻度が語の音読潜時と再認記憶に及ぼす影響. *人文論究* 43 : 71-82, 1993.
- 18) Krischer CC & Meissen R : Reading speed under real and simulated visual impairment. *Journal of Visual Impairment and Blindness* 77 : 386-388, 1983.
- 19) 氏間和仁, 小田浩一 他 : 個々のロービジョンの状態に応じた HTML 教材の活用—盲学校における授業事例. 第12回視覚障害リハビリテーション研究発表大会論文集 17-20, 2003.

(2007年2月28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
