

## 輝度コントラストと文字サイズが読書に与える影響

大西 まどか\*・乙訓 輝実\*・高橋 あおい\*・杉山 美智子\*・開本 真子\*・  
小川 禎恵\*\*・鈴木 淳生\*\*・大島 佑太\*\*・小田 浩一\*

\*東京女子大学 大学院人間科学研究科

〒167-8585 東京都杉並区善福寺2-6-1

\*\*共同印刷株式会社

〒112-8501 東京都文京区小石川4-14-12

### 1. はじめに

我々は、日常生活においてさまざまな大きさの文字を読んでいる。文字サイズと読速度の関係を記述した研究では、文字サイズが大きいときには安定して速い速度(Maximum reading speed; MRS)で読めるが、あるサイズ(Critical print size; CPS)を超えて小さくなると、読速度が急に下がっていく<sup>1,2)</sup>という、二肢の関数(以下読書関数)が報告されてきた(図1)。

文字の読みやすさは、文字サイズの他にも様々な要素から決定されるが、本研究では輝度コントラストをとりあげる。輝度コントラストは文字の読みやすさに大きく影響することが知られ、視角18~33分の閾値付近の文字サイズで輝度コントラストを変化させた日本語文を音読させた実験では、輝度コントラスト単独で読みやすさが決まることが報告されている<sup>3)</sup>。

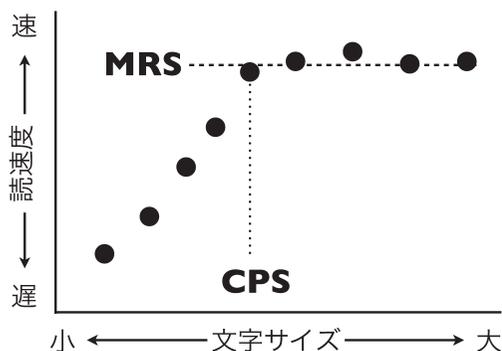


図1 読書関数の例。

小田ら<sup>2)</sup>と同様の手続きを用いて、輝度コントラストと文字サイズをあわせて変化させたときの読書パフォーマンスに関する研究からは、興味深い結果が得られている。Fujitaら<sup>4)</sup>は、10~100%の輝度コントラストの文章を音読させたところ、輝度コントラストの減少は、読書関数におけるCPSの拡大を引き起こしたが、読速度の最大値(MRS)には影響しないことを報告した。

輝度コントラストが低くなるにつれて、MRSが変わらずCPSが大きくなったということは、関数そのものの位置が、文字サイズの大きい側にシフトしたことを示している。しかし、測定されたコントラスト条件が少なかったため、輝度コントラストと読書関数の位置の定量的関係については検討されていない。Fujitaら<sup>4)</sup>が測定したよりもさらに低い、輝度コントラストが3%のときには、読速度の最大値が大きく下がるということが報告された<sup>5)</sup>。本研究では、文章の輝度コントラストと読書関数の定量的な関係を調べるため、Fujitaら<sup>4)</sup>より広範囲かつ小さいステップで輝度コントラスト条件を設定し、読書評価を行った。

### 2. 方 法

#### 2.1 刺激

4文字6モーラの日本語文節を刺激として提示した。刺激は、常用漢字で構成される二字熟語の後に、ひらがなの助詞二文字をつけたものであった。漢字の二字熟語は、天野・近藤(1999)<sup>6)</sup>から、文字単語親近性が高く(6.24±

0.13), 漢字複雑度が中程度(3.58±0.38)で、4モーラのもの504個を選出した。ひらがな二字の助詞はこれら504個の二字熟語と組み合わせた際に違和感のないことを、日本語母語話者の大学院生の評定者3名が独立して確認した26個であった。漢字の二字熟語504個とひらがな二字の助詞26個を組み合わせた日本語文節13,104個を用意し、その中からランダムにピックアップして提示した。刺激のフォントはヒラギノ角ゴシックW3で、文字間隔はベタ打ちであった。

文字の大きさは、視角3.09~61.93分、0.1log刻みで16段階用意した。背景輝度をディスプレイの最大輝度である78.14cd/m<sup>2</sup>に固定し、文字の輝度を変えて輝度コントラストを調整した。輝度コントラストは3~99%で、0.15log刻みの11段階であった。

## 2.2 装置

文字刺激の表示には、27 inchのEIZO製カラー液晶ディスプレイCX241-CN(解像度94ppi)を使用した。実験の制御には、Apple製Mac mini 2.3GHzを用いた。制御OSはXubuntu14.04LTS、刺激提示および音読時間の計測には、GNU OctaveとPsychtoolbox-3を使用した。

## 2.3 実験参加者

視覚正常の日本語母語話者6名(平均22.17±1.94歳、平均小数視力1.25±0.16)が実験に参加した。屈折矯正の有無は問わなかった。すべての参加者は、事前に実験内容を説明され、書面にて同意をしたうえで実験に参加した。

## 2.4 手続き

実験参加者は顎台で視距離300cmに固定された。画面の中央に文字と同じサイズの正方形を四文字分、注視点として表示した。実験者がコンピュータのキーボードを押して、最大サイズの文節を提示し、参加者はできるだけ速く正確に提示された文節を音読した。文節の中で読めない文字があった場合は、その部分を「ナントカ」と読むように指示された。この方法によって、参加者の音読が終わったタイミングで実験者がもう一度キーボードを押して、画面を注

視点に切り替えた。文節が表示されてから注視点に切り替わるまでの時間が、参加者の音読時間として記録された。誤読数は記録せず、提示文字数4文字を音読時間(秒)で除し60を乗じて、1分間あたりの読速度(文字/分)を算出した。以上を1試行とし、参加者が一文字も音読できなくなるまで0.1logずつ文字サイズを小さくしながら、試行を繰り返した。これを1セッションとして、セッション内では刺激の輝度コントラストは1種類に固定された。すべての輝度コントラスト条件を測定するのを1ブロックとし、一人の参加者につき、測定日を変えながら15ブロック程度測定を繰り返した。繰り返す場合、輝度コントラストの提示順は毎回ランダムに入れ替えた。

## 3. 結果と考察

実験参加者ごとに、輝度コントラスト条件ごと、刺激文字サイズごとに全ブロックで得られた読速度を平均して、読書関数を求めた。参加者のうち2名の結果を図2に示す。下記のWeibull曲線をfitし、読書関数のパラメータを推定した。

$$y = m_3 * (1 - \exp(-((10^x)/m_1)^{m_2}))$$

m1は曲線のx軸(文字サイズ)上の位置(Location of Reading Function; LRF), m2は曲線の傾き, m3はy軸(読速度)の最大値(MRS)を推定するパラメータである。輝度コントラストによって、読書曲線の傾きや最大値の推定値に大きな違いはなかったため、輝度コントラスト99%のm3とm2を定数として代入し、すべての輝度コントラスト段階のLRF(m1)を推定した。

本研究の結果は、輝度コントラスト99~10%の文章で、輝度コントラストが低くなると曲線そのものが大きな文字サイズ側にシフトするという先行研究<sup>4)</sup>の報告を支持した。また、輝度コントラストが減るごとにLRFが単調に大きくなっており、両者の関係はlog-logで、ほぼ線形の関係にあった。

個人によって、輝度コントラストとLRFの関係式の切片や傾きが違っていた。LRFは読速

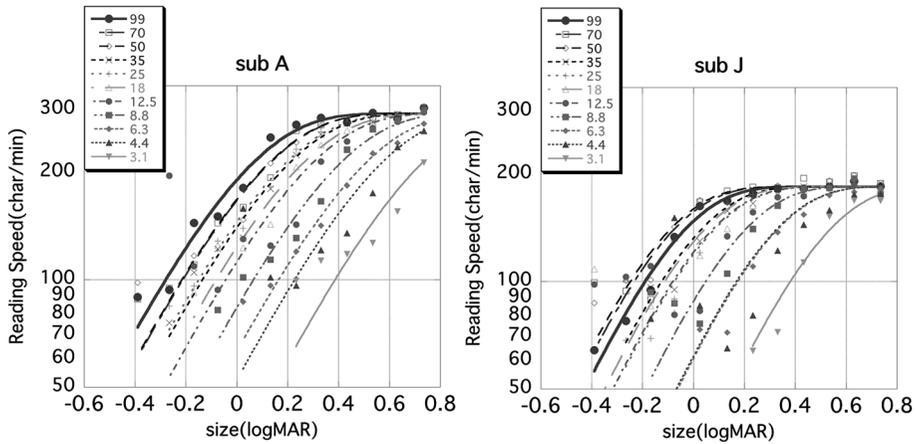


図2 参加者2名分の読書関数.

表1 輝度コントラストとLRFの関係式における切片へのMARの影響.

調整済みR <sup>2</sup> =0.829	B	β	t
(定数)	-0.654		-2.606
MAR	1.539	0.929	5.022**

\* p<.05, \*\* p<.01

表2 輝度コントラストとLRFの関係式における傾きへのMARの影響.

調整済みR <sup>2</sup> =0.76	B	β	t
(定数)	-0.081		-0.993
MAR	-0.409	-0.899	-4.100*

\* p<.05

度が最大値(m3)の約64%になる文字サイズで、閾値に近いサイズであると推測できる。認知閾には個人の視力が影響するので、個人の最小分離角(MAR)を独立変数として回帰分析を行った。切片、傾き共にMARが有意に影響していた(表1, 表2)。回帰直線の定数項が有意でないのも、傾きも切片も、単純にMARに比例して決まっていた。

輝度コントラストの、LRFの値への影響を、人間のコントラスト感度関数から考察する。コントラスト感度関数は、どの網膜空間周波数(cycles/degree)で、どのくらい低い輝度コントラストまで検出できるのかを記述したものである。この関数を輝度コントラストからみると、輝度コントラストの低下によって、解像できる最大の網膜空間周波数が低周波側にシフトするという関係が読み取れる。一方、文字の認識に重要なのは、単一の物体空間周波数帯域であるといわれている(約3cycles/letter, Critical

band<sup>7)</sup>。これらを総合すると、輝度コントラストが低下したときに文字を読み取るためには、Critical bandが、低周波の網膜空間周波数帯域で符号化されなくてはならないのではないか。文字のCritical bandと、網膜空間周波数のコントラスト感度という二つの制約によって、低コントラストになるほど、大きな文字サイズ側に読書関数の位置がシフトするという現象が引き起こされたのではないかと推察される。

そこで、刺激コントラストを感度に変換し、一般的な人間のCSF<sup>8)</sup>から、その感度が実現できる最大の網膜空間周波数(cpd)を推定して、当該網膜空間周波数が3cplの物体空間周波数を符号化できるようなサイズを予測LRFとして算出した。本研究では、個人ごとのコントラスト感度関数は測定せず、一般的なCSFを使ったので、個人差を説明する変数としてMARを投入し、予測LRFおよび実験参加者個人のMARから個人ごとに得られたLRFの値を線形

表3 予測LRFと個人のMARから個人のLRFを予測するときの係数および説明率。

調整済みR <sup>2</sup> =0.860	B	β	t
(定数)	-0.810		-8.969**
予測LRF	1.254	0.822	17.712**
MAR	1.032	0.434	9.354**

\* p<.05, \*\* p<.01

に説明できるか試みた。調整済みR<sup>2</sup>は0.860と非常に高く(表3)、LRFは、文字認識に重要な物体周波数帯域(cycles/letter)と、網膜空間周波数(cycles/degree)のコントラスト感度から説明可能であることが示唆された。

本研究では、文章の輝度コントラストによって読書関数のパラメータ、特に位置パラメータがどのような影響を受けるか検討した。本研究で測定した輝度コントラストの範囲では、輝度コントラスト低下によって読速度の最大値や読書関数の形は変わらず、読書関数の位置パラメータが文字サイズの大きい側にシフトしており、Leggeら<sup>5)</sup>、Fujitaら<sup>4)</sup>の先行研究の結果を再確認した。また、Critical bandが符号化できる最大網膜空間周波数がLRFを説明できることが示され、文字を読むためには単一の物体空間周波数帯域(3cpl)が重要であるという先行研究(7)を支持した。

Leggeら<sup>5)</sup>では、輝度コントラスト3%の文章においては、文字サイズの大きいときの読速度の最大値も輝度コントラストの高い条件に比べて低下していた。さらに、輝度コントラストが3%のときには、読速度の関数の形が高コントラストのときと違っており、提示文字が10度以上の大きなサイズであった場合に読速度の低下がみられた。本研究で実施した輝度コントラスト3%の文章における読書関数は、高コントラストのときとおなじパラメータでfitできたため、本研究で実施した文字サイズの範囲では、読書関数の形は大きく変わっていなかった。しかし、本研究では最大文字サイズが1度程度であり、文字サイズが大きくなったときにも関数の形が同じであるかは測定できなかった。輝度コントラストが3%のときには、人間のコントラスト閾により近い刺激を観察することになる

ので、本研究で得られた結果とは別の形の関数が得られる可能性が示唆されている。提示文字サイズと輝度コントラストの範囲を広げるなどして、さらに検討することが必要である。

## 文 献

- 1) J. S. Mansfield, G. E. Legge and M. C. Bane: Psychophysics of reading. XV: Font effects in normal and low vision. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **37**, 1492-1501, 1996.
- 2) 小田浩一, J. S. Mansfield, G. E. Legge: 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, 28-31, 1998.
- 3) M. Ayama, H. Ujike, W. Iwai, M. Funakawa and K. Okajima: Effects of contrast and character size upon legibility of Japanese text stimuli presented on visual display terminal. *Optical Review*, **14**, 48-56, 2007.
- 4) K. Fujita, K. Oda, J. Watanabe and M. Yuzawa: How normal eyes perform in reading low-contrast texts. *Japanese Journal of Ophthalmology*, **52**, 44-47, 2008.
- 5) G. E. Legge, G. S. Rubin and A. Luebker: Psychophysics of reading: V. The role of contrast in normal vision. *Vision Research*, **27**, 1165-1177, 1987.
- 6) 天野成昭, 近藤公久: NTTデータベースシリーズ日本語の語彙特性. 三省堂, 1999.
- 7) J. Solomon and D. Pelli: The visual filter mediating letter identification. *Nature*, **369**, 395-397, 1994.
- 8) 川嶋英嗣, 小田浩一, 高橋尚子, 谷村 裕: Gabor-PatchによるCSFの測定: 視覚正常者と低視力者の感度特性. *VISION*, **6**, 169-172, 1994.