

縦スクロール表示された文章の快適な読み速度と眼球運動

石井 亮登^{1,†1} 森田 ひろみ^{2,a)}

受付日 2012年6月25日, 採録日 2013年3月1日

概要: スクロール表示は、狭い領域に多量の情報を提示するために用いられる。本論文では、横書きの文章が下から上へと流れる縦スクロール表示について、その基本的な読み特性を調べることにより、携帯端末などのデザインに資することを目的とする。実験1ではスクロール表示の読みの基本的評価指標の1つとされる快適速度（読み手が快適に読めると感じる速度）と、移動単位（スクロールする際に1度に移動する距離、ここでは1ピクセルまたは1行）や表示枠サイズ（表示行数および1行内の表示文字数）の関係を調べた。その結果、移動単位が1ピクセルの条件の方が快適速度が速いこと、また表示行数および表示文字数の増加にとともに快適速度が速くなること、表示枠内の広さが同じであれば、行数を犠牲にして行内の文字数を多くとる方が快適速度が速くなること示された。実験2では、読み最中の眼球運動を測定した結果、移動単位により読み方が異なることが分かった。ピクセル単位のスクロール表示を読む場合は、1行を読み終えたら速やかに次の行の行頭に視線移動するのに対し、行単位のスクロール表示を読む場合、1行を読み終えてもそのまま行末で行送りを待つ読み方をする。また、移動単位によらず読み手は表示枠内の最下行に視線を向けて読むことが多いことが分かった。結果から、移動単位により異なる縦スクロール表示の読みモデルを提案する。

キーワード: 縦スクロール表示, 読み, 読み速度, 眼球運動

The Rate of Vertical Text Scrolling for Comfortable Reading and Eye Movements during Reading

RYOTO ISHII^{1,†1} HIROMI MORITA^{2,a)}

Received: June 25, 2012, Accepted: March 1, 2013

Abstract: Scrolling text is a useful way for presenting a large volume of materials within a limited display area. To investigate the basic characteristics of vertical text scrolling in terms of readability, we measured the rate of scrolling when one reads comfortably (Experiment 1), and eye movements during reading (Experiment 2). The comfortable reading rate was higher when text was scrolled by pixel (per-pixel scrolling) rather than by line (per-line scrolling), and increased as more lines or more characters per line were presented in the window. It was also found that if the display area is limited, increasing the number of characters per line rather and decreasing the number of lines is effective for improving comfortable scrolling rate. Eye movement data indicated that the lower comfortable scrolling rate for per-line scrolling was mainly due to longer fixation duration at the end of the bottom line. This is probably because readers tend to wait for the next line to appear from the bottom of the window, whereas in the per-pixel scrolling case, they immediately move their eyes to the beginning of a new line.

Keywords: vertical text scrolling, reading, reading rate, eye movements

¹ 筑波大学大学院図書館情報メディア研究科
Graduate School of Library, Information and Media Studies,
University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8550, Japan

² 筑波大学
University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8550, Japan

^{†1} 現在、株式会社ナカヨ通信機
Presently with Nakayo Telecommunications, Inc.

a) morita@slis.tsukuba.ac.jp

1. はじめに

限られた領域内に文章が流れるように提示される方式は、電車内の電光掲示板や携帯電話の画面などで日常的に目にする。このように、情報が右から左へ、または下から上へと流れていく提示方式をスクロール表示という。文章

の場合には、文字が右から左へと流れる横スクロール表示と、横書きされた行が下から上へと流れる縦スクロール表示が主に用いられるが、近年、パソコンや携帯電話の普及にともないディスプレイ上で縦スクロール表示される文章を読む機会が増えている。スクロール表示の利点は、限られた表示領域で多くの情報を提示できることである。そのため、電子機器が小型化する現代において、その利用可能性はますます広がることが予想される。また、今後電子書籍の普及にともない、横書き文章の縦スクロール表示や縦書き文章の横スクロール表示を読む機会が増えることが予想されることから、スクロール表示の認知特性を根本的に検討する必要があると考えられる。

たとえば、現在パソコンや携帯端末の操作では、手動で行を送る方式が用いられ、その移動の単位は1ピクセルずつの連続的な場合と1ないし数行ずつの不連続な場合があるが、電子書籍で長い文章を読む場合に、どのような表示方式が最適であるかを、認知特性の観点から検討した研究は行われていない。また、パソコン画面上で比較的長い文章を読む場合、自分のペースで進めながら読むよりも自動的な縦スクロール表示で読むほうが読みやすいという調査結果もあるが[1]、自動スクロールの読み効率やそれがどのような認知特性を持つかという点は十分明らかになっていない。そこで、本研究は、比較的長い文章を用いて、自動スクロール表示の読みの認知特性とその基礎にある自動スクロール表示特有の読みのメカニズムを解明し、どのような自動スクロール表示が効率良く読めるかを明らかにすることにより、今後のスクロール表示のデザインに資することを目的とする。

スクロール表示の欠点は、1度提示領域外へと流れてしまった文字を読み返すことが困難な点である。そのため、文章が流れる速度は読み手が内容を理解するための重要な要因となる。読み手が快適に読むことができる速度（以後、快適速度とする）は、提示装置の表示領域や文字移動メカニズムなどによって異なると考えられるため、それらの条件により機器の表示速度を調整する必要があるが、日本語の文章を用いて、縦スクロール表示の基本的条件と快適速度の関係を調べた研究はほとんど行われていない。横スクロール表示された日本語文章の表示文字数と快適速度の関係は、1文字ずつ移動する方式について中條ら[2]が、1ピクセルずつ移動する方式について八木ら[3]が報告しているが、横スクロール表示は、かなり特殊な表示方法であるため、そこから縦スクロール表示の表示条件と快適速度の関係を推測することはできない。また、縦スクロール表示された英語の文章の読み速度について、Duchnickyら[4]が調べているが、漢字とひらがなからなる日本語は英語とは傾向が異なる可能性があること、また彼らの研究が1980年代前半に行われているため、実験参加者が現代のように縦スクロール表示に慣れていないことなどの問題がある。

そこで本研究は、日本語で書かれた文章の縦スクロール表示について、ピクセル単位と行単位という文字移動の連続性が異なる表示方法や、1行あたりの表示文字数および表示行数と快適速度の関係を調べ、それらの条件によって表示速度をどのように調整すべきかについての知見を得ることを第1の目的とする。

これまでに、静止した文章の読みの認知的メカニズムを調べるために、眼球運動の計測が行われ、読みの方向に沿ってサッケードと停留を繰り返す特徴的な眼球運動や、行の先頭で比較的長い停留時間が見られることなどが報告されている[5]、[6]。また、静止した横書きの文章を読む際に、文字を正確に読むことができる範囲は中心視付近の2から5文字程度であるが、スムーズに読むためには、それより広い範囲が見えていなければならないことが、眼球運動にともない移動する視野制限窓を用いた研究から報告されている。この範囲は読みの有効視野と呼ばれ、10から17文字程度の範囲で、読み進む方向に広がることが分かっている[6]、[7]。スクロール表示を読む際には、表示枠により視野が制限されていることや移動する文章を読むという性質上、その認知過程と眼球運動の間に密接な関係があると予想されるが、眼球運動を測定した研究は限られている[1]。本研究の第2の目的は、縦スクロール表示の読み最中の眼球運動特性を調べることにより、縦スクロール表示の読み過程をより深く探ることである。

そこで実験1では、文字の移動単位と表示文字数および行数を独立変数として操作し、快適速度（読み手が最も読みやすいと感じる速度）との関係を調べた。実験2では、快適速度で縦スクロール表示される文章を読む際の眼球運動を測定し、文字の移動単位と視線停留位置および時間との関係を検討した。

2. 実験1

2.1 実験参加者

18歳から25歳までの大学生および大学院生20人（このうちの9人が男性、平均年齢21.0歳）が実験に参加した。実験参加者は全員、裸眼または矯正で正常な視力であった。

2.2 環境

刺激はコンピュータ（DELL XPS600）制御で、CRTディスプレイ（TOTOKU CDT1905A）上に表示した。実験参加者は、暗室内で着席し観察距離が80cmとなる位置で顔を顎台に固定して実験を行った。しかし、9人目の実験参加者の実験途中で上記のCRTディスプレイが故障したため、10人目以降の実験参加者の実験は別のCRTディスプレイ（DELL TX78682）上で行った。観察距離を70cmとすることにより、ディスプレイ上の刺激の視角がそれまでと変わらないようにした。

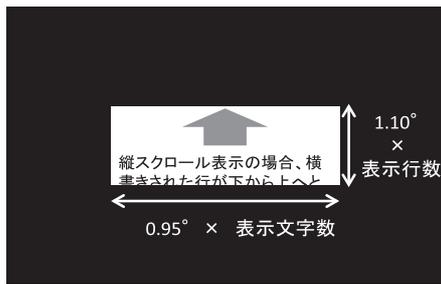


図 1 実験で用いた縦スクロール表示画面の説明図
Fig. 1 Illustration of the stimulus display.

2.3 刺激

背景となる黒い画面中央に、表示枠（文章を表示する窓）を表示し、その表示枠内に文章を縦スクロール表示方法により提示した（図 1 参照）。

CRT ディスプレイ (TOTOKU CDT1905A) のモニタ表示領域は横 365 mm, 縦 275 mm, 画面解像度は 1,024 × 768 である。背景の黒は輝度 0.10 cd/m², 表示枠内背景の白は輝度 76.7 cd/m² である。表示する文章の 1 文字の大きさは 28 pt (13.31 mm) で、観察距離 80 cm のとき、視角にして 0.95° であった。

CRT ディスプレイ (DELL TX78682) のモニタ表示領域は横 322 mm, 縦 243 mm, 画面解像度は 1,024 × 768 である。背景の黒は輝度 0.00 cd/m² で、表示枠内背景の白は輝度 76.5 cd/m² であった。表示する文章の 1 文字の大きさは 28 pt (11.74 mm) で、観察距離 70 cm のとき、視角にして 0.96° であった。

文字のフォントはゴシック体とし、文字色は画面背景と同じ黒色とした。表示枠の縦幅は、文字の表示される領域より上下に 1 mm 大きく、横幅は文字の表示される領域より左右に 1 mm 大きかった。行間は 2 mm 空けた。

1 行に表示する表示文字数は、5, 10, 20 文字の 3 条件、表示枠内に表示する表示行数は、1, 2, 4, 8 行の 4 条件であった。

2.4 文章材料

朝日新聞社編・天声人語 (2006~2009 年) の中から、時事内容のものを避けて選定し、1 文章の長さが 400~450 文字になるように編集したものを本試行用に 48 文章、練習試行用に 8 文章用いた。

2.5 手続き

実験参加者の課題は、表示枠内を縦スクロール表示される文章を黙読しながら、文章が流れる速度を最も読みやすいと感じる速度に調節することである。文章の最終行が表示枠最下行に表示されると、それ以降は速度調節を行うことができないので、それまでに速度の調節を終えるように、もしそれができなかった場合はその時点で申し出るように

教示した (実験では 1 試行のみこのような申告があり、そのデータは分析から除外した)。また、いくつかの試行で、文章を読み終わった直後に、読んだ文章の内容についての簡単な確認テストを行うことを教示した。どの試行で確認テストを行うかは知らせず、どの試行で確認テストが行われても答えられるよう、文章の内容を理解しながら読むように求めた。確認テストは文章内容について問う簡単なもので、「はい」か「いいえ」で解答する。

1 試行の流れは次のとおりである。準備画面で実験参加者がキーボードの「0」キーを押すと表示枠が画面中央に表示され、ただちに文章が表示枠内を下から流れはじめる。初速度は 9.4 dot/sec (0.25 行/秒) に相当する。実験参加者は、縦送り表示される文章を読み理解しながら、マウスの左クリック (加速) と右クリック (減速) を用いてスクロール速度の調節を行う。文章が完全に表示枠内から流れ終わると 1 試行が終了し、確認テストを行う場合は口頭で質問と解答が行われ、次の準備画面が表示される。最後の行が表示された時点のスクロール速度を快適速度として記録した。なお、1 クリックごとのスクロール速度の変化量は画面制御の制約により一定値ではない*1。最小値 9.4 dot/sec (0.25 行/秒) から 1 回クリックすると 1.3 dot/sec (0.04 行/秒) 増加し、その後の 1 クリックごとの増加量は 3.8 dot/sec から 12.5 dot/sec (0.1 行/秒から 0.33 行/秒) の間の値となり、最後の 1 クリックで 37.5 dot/sec (1.0 行/秒) 増加して最大値 150 dot/sec (4 行/秒) となる。

2.6 デザイン

本実験は、行の移動単位として 2 水準 (ピクセル単位, 行単位), 1 行の表示文字数として 3 水準 (5, 10, 20 文字), 表示する行数として 4 水準 (1, 2, 4, 8 行) の 24 条件からなる実験参加者内 3 要因計画で行った。

最初に練習試行を 8 試行、その後本試行を 48 試行行った。練習試行は、ピクセル単位, 行単位の移動のそれぞれについて、表示文字数 10 文字 × 表示行数 1 行, 以下同様に 20 文字 × 4 行, 5 文字 × 2 行, 20 文字 × 8 行の 4 通りの表示枠で 1 試行ずつである。本試行は 12 試行を 1 ブロックとし、表示文字数と表示行数の全組合せ (12 通り) が 1 ブロック内にランダムな順序で現れるようにした。半数の実験参加者は先にピクセル単位の移動方式で 2 ブロック、次に行単位の移動方式で 2 ブロックという順序で行い、残り半数の実験参加者はその逆の順序で行うことにより、移動単位について実施順序をカウンターバランスした。48 文章を 4 グループに分け、第 1 ブロックから第 4 ブロックに割り当て、それぞれのブロック内ではランダムな順序で提示した。

*1 滑らかなピクセル単位のスクロール表示を実現するため、CRT の垂直同期に合わせて画面の書き換えを行っていることによる。詳しくは付録 A.1 を参照のこと。

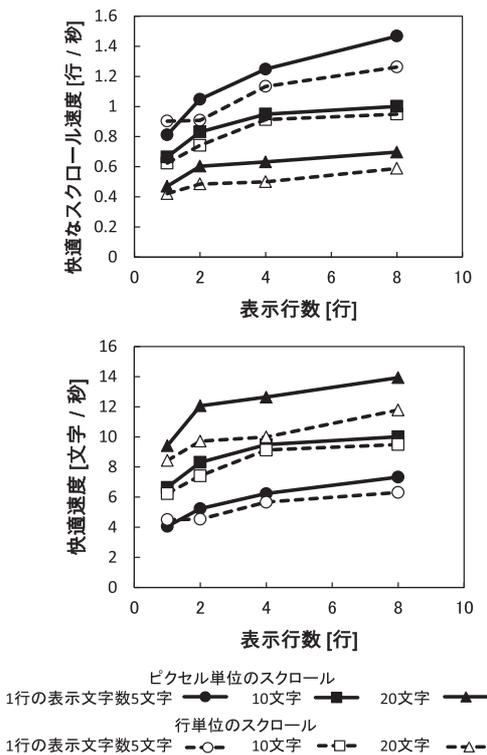


図 2 ピクセル単位, 行単位の縦スクロール表示における表示文字数, 行数と平均行スクロール速度の関係 (上) および平均快適速度の関係 (下)

Fig. 2 Average comfortable scrolling rate (lines/sec, upper panel) and average comfortable reading rate (characters/sec, lower panel) as a function of the number of lines displayed in the window and the number of characters per line.

2.7 結果

実験中に CRT ディスプレイ (TOTOKU CDT1905A) が故障したために実験を中断した 1 人分のデータを分析から除外した。確認テスト 10 問に対する解答の正答率は 96% と高かったことから, 実験参加者は文章内容を正しく理解していたと考えられる。

2.7.1 快適速度

最終的な行のスクロール速度 [行/秒] の値をもとに, 単位時間あたりの文章の進行速度を文字単位で計算したものを快適速度 [文字/秒] とした。これは, 1 行の表示文字数によらず, 読み手が単位時間あたり何文字読み進んだかを表す値であり, この値を用いると表示文字数の異なるスクロール表示の間で読み速度を比較することができる。ピクセル単位, 行単位の移動方式による, 表示文字数, 表示行数と最終的な行スクロール速度の関係, および快適速度の関係を図 2 に示す。図の行スクロール速度および快適速度は実験参加者間の平均値である。

快適速度 [文字/秒] を従属変数として, 移動単位, 表示文字数, 表示行数の 3 要因の繰返しのある分散分析を行った結果, 移動単位の主効果, 表示文字数の主効果, 表示行数の主効果はすべて有意であった ($F(1, 18) = 14.2, p < .001$;

$F(2, 36) = 112, p < .001$; $F(3, 54) = 69.0, p < .001$). 表示文字数の主効果が認められたので, 多重比較 (以下すべての多重比較は Bonferroni 法を用いた) を行ったところ, 表示文字数のすべての条件間で有意差がみられた ($p < .001$). 同様に, 表示行数の主効果が認められたので多重比較を行ったところ, 表示行数のすべての条件間で有意差がみられた ($p < .001$).

1 次の交互作用について検定した結果, 移動単位と表示文字数の交互作用, 移動単位と表示行数の交互作用, 表示文字数と表示行数の交互作用のすべてが有意であった ($F(2, 36) = 6.88, p < .005$; $F(3, 54) = 4.88, p < .005$; $F(6, 108) = 4.39, p < .005$). 1 次の交互作用については以下に詳しく述べる。移動単位, 表示文字数および表示行数による 2 次の交互作用は認められなかった ($F(6, 108) = 1.23, ns$).

2.7.2 行の移動単位と表示行数の関係

行の移動単位と表示行数の交互作用が有意であったので, 表示行数の各水準における移動単位の単純主効果の検定を行ったところ, 表示行数が 1 行の条件のときのみ有意でなかった ($F(1, 18) = 15.1, ns$) が, 2 行, 4 行, 8 行の条件のときは有意であった ($F(1, 18) = 15.1, p < .001$; $F(1, 18) = 18.5, p < .001$; $F(1, 18) = 15.4, p < .001$). また, 移動単位の各水準における表示行数の単純主効果の検定を行ったところ, ピクセル単位, 行単位の両条件で有意となり ($F(3, 16) = 47.5, p < .001$; $F(3, 16) = 19.7, p < .001$), 多重比較を行ったところ, どちらの条件においても, すべての表示行数間に有意差がみられた ($p < .05$).

2.7.3 行の移動単位と表示文字数の関係

移動単位と表示文字数の交互作用が有意であったので, 表示文字数の各水準における移動単位の単純主効果の検定を行ったところ, 表示文字数が 5 文字, 20 文字の条件では移動単位の単純主効果が有意となったが ($F(1, 18) = 5.37, p < .05$; $F(1, 18) = 13.8, p < .05$), 10 文字の条件では有意でなかった ($F(1, 18) = 2.57, ns$). また, 移動単位の各水準における表示文字数の単純主効果の検定を行ったところ, ピクセル単位, 行単位の両条件で有意となり ($F(2, 17) = 59.9, p < .001$; $F(2, 17) = 78.0, p < .001$), 多重比較により検定した結果, どちらの移動単位においても, すべての表示文字数間に有意差がみられた ($p < .001$).

2.7.4 表示文字数と表示行数の関係

表示行数と表示文字数の交互作用が有意であったので, 表示文字数の各水準における表示行数の単純主効果の検定を行ったところ, 5 文字, 10 文字, 20 文字すべての条件で有意となった ($F(3, 16) = 35.9, p < .001$; $F(3, 16) = 23.6, p < .001$; $F(3, 16) = 26.7, p < .001$). 表示行数の各水準における表示文字数の単純主効果の検定を行ったところ, 1 行, 2 行, 4 行, 8 行すべての水準で有意となった ($F(2, 17) = 79.3, p < .001$; $F(2, 17) = 58.0, p < .001$; $F(2, 17) = 76.7, p < .001$; $F(2, 17) = 45.7, p < .001$).

2.8 実験1 考察

2.8.1 行の移動単位と快適速度の関係

表示行数あるいは表示文字数の各水準における行の移動単位の単純主効果は、表示行数が1行の条件および表示文字数が10文字の条件では認められなかったものの、それ以外のすべての条件で認められたことから、ほとんどの表示枠条件において行単位の移動方式よりもピクセル単位の移動方式の方が快適速度が速いといえる。その理由として、以下のことが考えられる。最初に述べたように、静止した文章を読む場合、眼球運動は停留と読み方向へのサッケードを繰り返す。ピクセル単位の移動方式の縦スクロール表示を読む場合は、滑らかに移動する文字を追跡眼球運動して注視し続ける状態と読み方向へのサッケードを繰り返すことにより読むと考えられる。これに対し、行単位のスクロール表示では、停留と読み方向へのサッケードのほかに、停留中に行の移動が発生すると停留位置を修正するための上方向へのサッケードを行うと考えられる。この読み最中の上方向へのサッケードは読みの過程を妨げるため、行の移動が生じる前に1行を読み終えることができるように、快適速度を遅く設定する傾向があると考えられる。

このように考えると、表示行数が1行の条件では、移動単位がピクセル単位でも、行を確実に読み終えるまでは枠外に流れ出てしまわないような速度に調節するため、移動単位による快適速度の差がみられなかったと説明できる。一方、表示文字数20文字の条件および5文字の条件では移動単位の単純主効果がみられたのに対し、10文字条件のみ移動単位の単純主効果がみられなかった。この点に関して、行単位のスクロール表示において、表示文字数が20文字の条件では1行が長いために、また5文字の条件では行切替えのタイミングが非常に速いために、行切替えのタイミングと読み速度をうまく合わせる事が困難であった可能性がある。そのため、上方向へのサッケードが生じやすく読み速度をより遅く設定する必要があるのではないだろうか。これに対して10文字の条件では、比較的的行切替えのタイミングに読み速度を合わせやすかったため、快適速度を遅く設定する必要がなく、10文字の条件のみ移動単位による快適速度の差がみられなかったのではないかと考えられる。

2.8.2 表示文字数・表示行数と快適速度の関係

ピクセル単位、行単位どちらの条件においても、表示文字数と表示行数のそれぞれの単純主効果が認められ、多重比較の結果、すべての表示文字数、表示行数の間で有意差がみられた。つまり、縦送り表示においては、ピクセル単位、行単位どちらの移動単位でも、表示文字数あるいは表示行数が増加するほど快適速度が速くなる事が分かった。ただし、この傾向はあくまでここで調べた範囲内(20文字以内、8行以内)でいえることで、これ以上文字数や行数を増やしていくと、快適速度がそれ以上速くならない

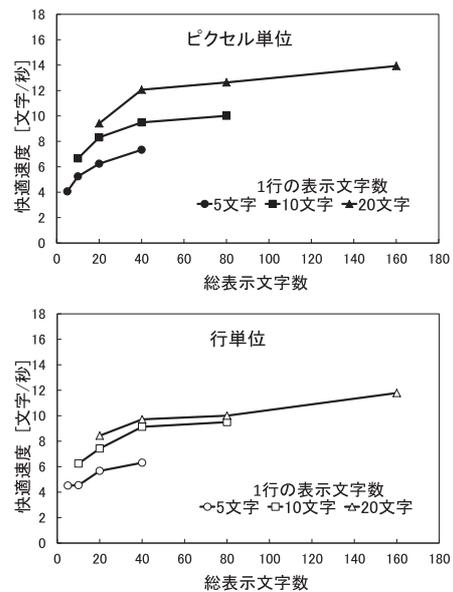


図3 総表示文字数と平均快適速度の関係
 Fig. 3 Average comfortable scrolling rate versus the total number of displayable characters.

表示文字数や行数に達することが予想される。

2.8.3 総表示文字数と快適速度の関係

表示文字数と表示行数のどちらの方が快適速度に大きく影響するかということは、読み速度という観点から、限られたスペースの中で最適な表示枠の縦横比を検討するうえで重要である。そこで、表示枠内に表示される最大の文字数(表示文字数×表示行数)を総表示文字数とし、この総表示文字数と平均快適速度の関係について検討する。総表示文字数に対する平均快適速度を表した図3において、特にピクセル単位のスクロール表示において顕著であるが、総表示文字数が10, 20, 40, 80文字すべての場合において、同じ総表示文字数ならば1行の表示文字数が多い条件の方が(つまり表示行数が少ない条件の方が)平均快適速度が速いことが分かる。また、ある表示枠の大きさから総表示文字数を増加させる場合、表示行数よりも表示文字数を増加させる方が快適速度の観点からは効率が良いことが分かる。

このように、縦スクロール表示では、表示行数よりも表示文字数の方が快適速度に大きく影響することが分かる。その理由として、最初に述べたように、スムーズに読むためには、中心視野よりも広い有効視野で情報収集できなければならないことが関係すると考えられる。行末の単語を読む停留では右側の有効視野に文字が存在しないため情報収集できず読みの効率が落ちる。行長が短くなると行の途中における停留の回数が少なくなるため、相対的に行末の停留の割合が高くなる。したがって、有効視野右側において情報収集できない停留の割合が増加し、読み速度が低下すると考えられる。ただし、これはスクロール表示に限らず働く要因である。スクロール表示に限定される要因として、行内の表示文字数が増加すると1行を読み終えるのに

必要な時間が長くなるため、行の移動速度を遅く設定することになり、ピクセル単位のスクロール表示においては追跡眼球運動による行の追跡が容易になると考えられる。一方、行内の表示文字数が多くなると同じ長さの文章であれば表示行数は少なくなるため、行単位のスクロール表示においては、行切替えの回数が減少し、読み最中に行が移動してしまう事態の生起回数も減少することが考えられる。

3. 実験 2

3.1 実験参加者

20 歳から 25 歳までの大学生および大学院生 18 人が実験に参加した。実験参加者は全員、裸眼または矯正で正常な視力であった。

3.2 環境

2 種類の眼球運動測定装置を用いて実験を行った。これは、実験途中でより新しい装置に切り替えたためである。それにとともに、実験システムの構成機器も異なる。実験参加者のうち最初の 8 人は、コンピュータ (DELL XPS600) 制御により、CRT ディスプレイ (EIZO FlexScanT565) 上に表示された文章を読み、眼球運動測定装置 (ISCAN eye tracking system RK726, RK620, RK464) を用いて眼球運動測定を行った。暗室内で着席し、観察距離が 80.0 cm となる位置で顔を顎台に固定して実験を行った。残りの 10 人は、コンピュータ (DELL DIMENSION9200) 制御により、CRT ディスプレイ (SONY Trinitron Multiscan20sh) 上に表示された文章を読み、眼球運動測定装置 (NAC EMR-9) を用いて眼球運動測定を行った。暗室内で着席し観察距離が 85 cm となる位置で顔を顎台に固定して実験を行った。

どちらの眼球運動測定装置もサンプリングレートを 60 Hz に設定して測定した。

3.3 刺激

CRT ディスプレイ (FlexScanT565) のモニタ表示領域は横 365 mm、縦 275 mm、画面解像度は 1,024 × 768 である。表示する文章の 1 文字の大きさは 28 pt (13.31 mm) で、観察距離 80 cm のとき、視角にして 0.95° であった。

CRT ディスプレイ (Trinitron Multiscan20sh) のモニタ表示領域は横 392 mm、縦 285 mm、画面解像度は 1,024 × 768 である。表示する文章の 1 文字の大きさは 28 pt (14.29 mm) で、観察距離 85 cm のとき、視角にして 0.96° であった。

表示文字数を 20 文字、表示行数を 4 行に固定した点を除き、文字のフォントやコントラストなどは実験 1 と同様であった。表示文字数を 20 文字としたのは、実験 1 の結果において、20 文字の条件で最も移動単位の影響が出ているためである。表示行数を 4 行としたのは、縦方向の眼球運動を測定するには表示行数が多い方が都合が良いが、8 行では広すぎて顔が上下に動いてしまい正確な眼球運動

測定を行えない可能性があるためである。

3.4 文章材料

朝日新聞社編・天声人語 (2004~2008 年) の中から、時事内容のものを避けて選定し、1 文章の長さが 400~450 文字になるように編集したものを本試行用に 12 文章、練習試行用に 5 文章用いた。実験 1 で使用した文章は含まない。

3.5 手続き

3.5.1 快適速度測定

最初に、眼球運動を測定する際のスクロール速度を決定するために、ピクセル単位、行単位の移動条件において快適速度を測定した。ISCAN で測定を行った 8 人は加えて比較のためにページ単位の表示条件での快適速度を測定した。

ピクセル単位と行単位の移動条件での手続きは実験 1 と同様であった。ページ単位の表示条件では、表示枠内全体に静止した文章が表示され、実験参加者が表示枠内の文章をすべて読み終え、エンターキーを押すと、表示枠内の文章が更新されるという方式で文章が提示された。

3.5.2 眼球運動測定

眼球運動測定装置の調整 (カメラ位置の調整やキャリブレーション) 後、実験参加者は表示枠内を快適速度で縦送り表示される文章を黙読した。

3.6 デザイン

ISCAN で測定を行った 8 人は、快適速度の測定に際して、ピクセル単位と行単位の移動条件で練習を 1 試行ずつ行った後、本試行を 2 試行ずつ行った。その後、ページ単位の表示条件の本試行を 1 試行のみ行った。続いて、測定した快適速度でスクロール表示し、ピクセル単位と行単位の移動条件について 1 試行ずつ、読み最中の眼球運動を ISCAN で測定した。

EMR で測定を行った 10 人は、快適速度の測定に際して、ピクセル単位と行単位の移動条件で練習を 2 試行ずつ行った後、本試行を 3 試行ずつ行った。続いて、測定した快適速度でスクロール表示し、ピクセル単位と行単位の移動条件について 2 試行ずつ、読み最中の眼球運動を EMR で測定した。データは測定システムにより区別せずに扱った。

どちらの表示から測定を始めるかについて、実験参加者ごとにカウンターバランスさせた。また、各条件への文章の割当てについても、実験参加者ごとにカウンターバランスさせた。

3.7 結果

3.7.1 快適速度

移動条件と快適速度の関係は、ピクセル単位の移動条件における快適速度の実験参加者平均値が 11.9 文字/秒 (標

表 1 1行を読む間の停留回数と1回あたりの停留時間の実験参加者間平均値

Table 1 Average frequency of fixation per line and average fixation duration.

移動単位	停留回数 (回/行)		停留時間 (ミリ秒)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
ピクセル	5.86	0.95	261	21.9
行	6.52	1.16	284	38.3

準偏差 4.52 文字/秒), 行単位の移動条件における快適速度の実験参加者平均値が 9.45 文字/秒 (標準偏差 3.95 文字/秒), ページ単位の移動条件における快適速度の実験参加者平均値が 12.4 文字/秒 (標準偏差 5.03 文字/秒) であった。

3.7.2 眼球運動 (水平方向)

眼球運動の測定結果の水平方向のデータについて, 視角にして 3 度以上に相当するノイズが定常的に乗っていた 2 人の結果を除いた。

次の手続きに従い水平方向の眼球運動測定データを解析した。(1) 視線方向が表示枠の左端に移動した時点を取りターンスイープ (RS) とする。(2) RS から次の RS までを 1 行の読み時間と考え, これを基本区間とする。瞬きなどによりデータが欠損している基本区間は解析対象から除く。(3) 視線方向が視角にして 1 度の範囲内にとどまる時間が連続して 100 ミリ秒を超えた期間を, 1 停留とする。(4) 視線方向が 33 ミリ秒間で視角にして 1 度以上移動した場合, 1 サッケードとする。

どちらかあるいは両方の移動条件において, 解析可能な基本区間が 3 区間に満たなかった 6 人の実験参加者の結果を除き, 1 基本区間中に行われた停留の回数および 1 回あたりの停留時間の実験参加者間平均を表 1 に示す。停留回数および停留時間の両方について, 移動条件の効果が有意であった (それぞれ $t(9) = 2.65, p < .05; t(9) = 2.98, p < .05$)。

RS から RS までの基本区間内の停留を, その位置により RS 直後の停留 (行左端における停留), RS 直前の停留 (行右端における停留), およびそれ以外の停留 (行途中における停留) の 3 種類に分類し, それぞれの停留時間の実験参加者間平均を図 4 に示す。図 4 の横軸は停留位置 (左端, 両端以外, 右端), 縦軸は停留時間である。停留時間を従属変数として移動条件と停留位置の 2 要因の繰返しのある分散分析を行った結果, 移動条件の主効果が有意となり, 停留位置の主効果は有意ではないが, 移動単位と停留位置の交互作用が有意となった (それぞれ, $F(1, 9) = 9.13, p < .05; F(2, 18) = 3.08, ns.; F(2, 18) = 9.11, p < .005$)。そこで停留位置ごとに移動単位の単純主効果を調べたところ, 左端および両端以外において移動条件の効果は有意でないが, 右端において有意 ($p < .005$) となった。また, 移

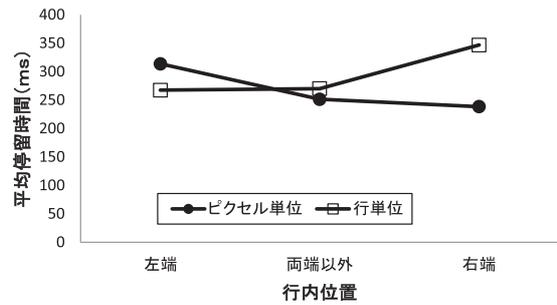


図 4 水平方向の停留位置と平均停留時間の関係
Fig. 4 Average fixation duration at the leftmost, middle, and rightmost position in a line.

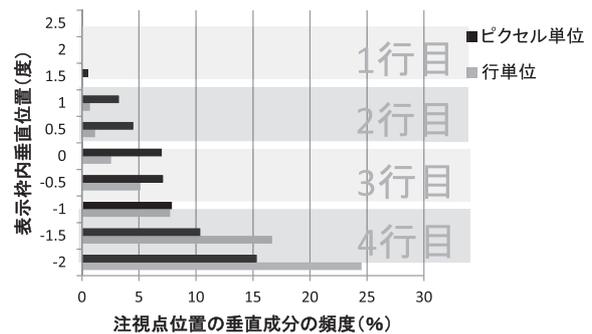


図 5 視点の垂直方向分布
Fig. 5 Vertical distribution of eye positions.

動単位ごとに停留位置の単純主効果を調べたところ, ピクセル単位の移動条件で有意となり ($p < .05$), 行単位の移動条件では有意傾向であった ($p < .08$)。そこで, 多重比較を行った結果, ピクセル単位の移動条件においては, 左端と右端の間に有意差がみられ ($p < .05$), 左端と両端以外の間に有意傾向がみられた ($p < .07$)。一方, 行単位の移動条件においては, 右端と両端以外の間に有意傾向がみられた ($p < .06$)。

3.7.3 眼球運動 (垂直方向)

垂直方向の眼球運動測定データは, 水平方向に比べてノイズが大きいこと, 視線移動距離が 1 行 (視角 1 度) 程度と小さいこと, 顔が上下に動きやすいことなどから, サッケードの抽出や停留の切り出しは困難であり, 信頼性も低いと考え, 行っていない。その代わりに, 視線方向の垂直成分の角度分布を分析することにより, どの行に視線を向けて読んでいたかを評価した。垂直方向の測定精度が比較的良好な EMR で測定を行った実験参加者のうち, 測定前後のキャリブレーションデータがよく一致していた実験参加者 3 人のデータを合わせて図 5 に示す。縦軸は表示枠の下端 (-2.2 度) よりやや下 -2.5 度から上端 (2.2 度) よりやや上 2.5 度までを 10 等分した垂直方向の階級を表し, 横軸は測定データの頻度 (%) を表す。この測定データとは, スクロール表示の開始から終了までの間に眼球運動測定装置から出力された注視点位置の垂直成分を視角で表したものの時系列である。グラフの背景に描いた灰色の長方形は,

上から順に表示枠内1~4行目に相当する。

視線が1行目から4行目までに均等に向けられていたかどうかを調べるため χ^2 検定を行ったところ、ピクセル単位と行単位の両条件で有意な値が得られたことから、視線方向の分布が一様でないことが示された (どちらも $p < .005$)。クラメールの連関係数を用いて移動単位により視線の垂直方向分布が異なるかどうかを検定したところ、移動単位の効果は有意でなかった。

3.8 実験2考察

実験1の結果において、ピクセル単位のスクロール表示に比べ、行単位のスクロール表示の場合に文章の快適な読み速度が遅かったことは、1行を読むのにかかる時間が行単位のスクロール表示の方が長いことを意味する。この読みにかかる時間の差は、眼球運動測定結果の、基本区間における停留回数および1回の停留時間の差が関連していると考えられる。

停留時間の差をより細かく検討するために、RSの生起の前後とそれ以外の停留に分けて分析したところ、RS直前、すなわち行を読む中で最後にあたる停留時間が、ピクセル単位でスクロールする文章の読みと比べて行単位でスクロールする文章の読みでは顕著に長いことが分かった。その他の位置における停留時間には移動単位による差がない。このような関係から、行単位のスクロール表示の読みの快適速度が遅いことと、行の右端での停留時間が長いこととの間に何らかの関係があると考えられる。

一方、視線の垂直方向の位置に関して、表示枠内の4行すべてにまんべんなく視線を向けて読むわけではなく、主に最下行に視線を向けて読んでおり、上の2行に視線を向ける割合は非常に小さいことが示された。

4. 総合考察

4.1 移動単位により異なる読み過程のモデル

実験1の結果から、ピクセル単位の移動方式の方が行単位の移動方式よりも快適に読むことができるスクロール速度が速いことが、実験2の結果から、ピクセル単位のスクロール表示の読みと比べて、行単位のスクロール表示では行の右端の停留時間が長いことが明らかになった。また、行の移動単位によらず、縦スクロール表示された文章を読む際には、表示枠の中の主に下の行に視線を向けて読むことが示された。これらの結果から、ピクセル単位と行単位の縦スクロール表示の読みと快適速度の関係について、図6のようなモデルを提案する。

行単位の縦スクロール表示を読むとき、読み手は主に最下行に視線を向けて一時的に静止している行を読むが、快適速度を遅く設定する傾向があるので、行を読み終わった時点でまだ下端から新たな行が出現しているとは限らない。そのため、右端を注視したままで待ち、新たな行が出

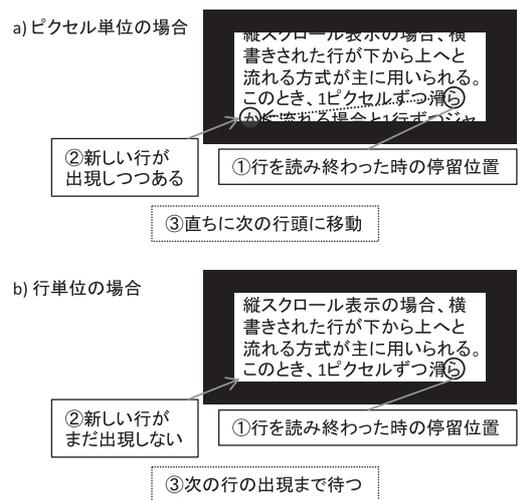


図6 ピクセル単位と行単位の縦スクロール表示の読みの違いの説明図

Fig. 6 Difference in the reading between per-pixel and per-line scrolling.

現したら行頭にサックードする。待ち時間が生じるような遅い速度に快適速度を設定する理由は、行を読んでいる最中に行切替えが生じることを避けるためと考えられる。各行を読むのに必要な時間は一定ではなく、ある幅を持つが、平均的な行の読み時間に合わせて快適速度を設定すると、約半数の行で、行を読んでいる最中に行スクロールが発生する状況が生じてしまう。読み途中に行を追って上方向にサックードすることは、静止した文章の読みでは生じないことで、正常な読みの過程を妨害すると考えられる。このような事態を避けるために、1行を読み終えるまでに行スクロールが発生することがないような余裕を持った速度を快適とすると考えられる。

一方、ピクセル単位の縦スクロール表示を読むとき、読み手はスクロールする行を追従性の眼球運動で追いつきながら読むことができるため、最下行から始めてその行が1行分上に移動するまで連続的に読むことができる。また、早めに行を読み終わったとしても、すでに新たな行が下端から出現しつつあるため、行単位のスクロール表示の読みの場合のように右端で待つことはなく、ただちに次の行の先頭へサックードして読みの過程を再開することができると考えられる。

4.2 応用と今後の課題

本研究の結果から、快適速度の観点からみると、ピクセル単位の滑らかなスクロール表示の方が行単位の不連続なスクロール表示よりも優れているといえる。ただ、機器の制約によりピクセル単位を採用できないような場合、1行の表示文字数が10文字程度であれば、行スクロール表示でもそれほど遜色がない。1行の表示文字数も表示行数も多いほど良いが、限られた表示領域であれば、行数を犠牲に

しても1行の表示文字数を多くとった方がよい。ただし、4行以下では行数を減らすことによる影響が大きく、どちらの移動単位でも1行や2行のスクロール表示はあまり良くないといえる。

また、眼球運動測定結果から、ピクセル単位のスクロール表示と行単位のスクロール表示の快適速度の差が、行末での待ち時間と関係していることが示された。ここから、機械的な制約などにより行単位のスクロール機能しか実現できないような場合に、読み速度を低下させないためには、行末の待ち時間を減らすため、つねに最下行より上の行で読むことができるような工夫や仕組みを考案することが有効である可能性が示唆される。

最初に述べたように、現代社会において縦スクロール表示はパソコンや携帯端末の情報提示方式として、なしには暮らせないほど重要である。現在その多くは、キー押しやスクロールバーの操作、画面へのタッチなどにより自分でスクロールさせるものであるが、今後電子書籍の利用の増加にともない、電車の中やソファに横になりながらなど多様な状況で長い文章を読む機会が増え、片手で機器を支えるだけで文章を読み進めることができる自動スクロール表示の必要性が高まることが考えられることから、本研究では自動スクロール表示に注目した。ここで得られた結果は、手動でコントロールするスクロール表示の読みにも共通する基本的性質と考えられるが、今後はその検証が必要である。そして、定速の自動スクロール方式と読み手が制御するスクロール方式間で読みの性質や過程を比較し、どのような使い分けが最適であるかを探ることが今後重要となる。Kolersら[1]は静止したページを自分のペースで切り替えながら読むよりも、好ましい速度でピクセル単位スクロール表示された文章を読む方が読みやすいとする割合が高いという主観的評価の調査結果を報告している。このようなことから、最適なスクロール表示方式として、読み手にとっての快適速度で自動的にスクロールする画面を読み手が必要に応じて速めたり遅くしたり調節しながら読むようなハイブリッドタイプなども検討する必要があるだろう。

5. 結論

実験1より、縦スクロール表示では行単位よりもピクセル単位のスクロール方式の方が、快適に読める速度が速いことが明らかになった。また、本実験で測定した範囲内では1行の表示文字数や表示行数が多いほど快適速度が速いこと、そして総表示文字数が一定ならば、1行に表示する表示文字数が多いほど快適速度が速いことが示された。

実験2より、行単位のスクロール方式で表示された文章を読む際の水平方向眼球運動は、ピクセル単位のスクロール表示方式に比べると行右端の停留時間が長いことが分かった。ここから、行単位のスクロール方式では、行切替

えにともなう上方向へのサッケードを避けるため、確実に1行を読み終えてから次の行が出現するような速度を快適とするという説明モデルを提案した。

謝辞 本研究で用いた眼球運動測定装置EMR-9は筑波大学人間学群所有のものを筑波大学人間系心理学域准教授、綾部早穂先生のご厚意により使用させていただいた。記して感謝の意を表す。

参考文献

- [1] Kolers, P.A., Duchnicky, R.L. and Ferguson, D.C.: Eye Movement Measurement of Readability of CRT Displays, *Human Factors*, Vol.23, No.5, pp.517-527 (1981).
- [2] 中條和光, 納富一宏, 石田敏郎: 横スクロール表示の読みの速度に及ぼす文字数の効果, *心理学研究*, Vol.64, No.5, pp.360-368 (1993).
- [3] 八木善彦, 菊地 正: スクロール提示された文章の読み特性, *心理学研究*, Vol.81, No.4, pp.388-396 (2010).
- [4] Duchnicky, R.L. and Kolers, P.A.: Readability of Text Scrolled on Visual Display Terminals as a Function of Window Size, *Human Factors*, Vol.25, No.6, pp.683-692 (1983).
- [5] 荻阪良二, 中溝幸夫, 古賀一男: 眼球運動の実験心理学, 名古屋大学出版会 (1993).
- [6] 荻阪直行: 読み一脳と心の情報処理, 朝倉書店 (1998).
- [7] Ikeda, M. and Saida, S.: Span of Recognition in Reading, *Vision Research*, Vol.18, No.1, pp.83-88 (1978).

付 録

A.1 快適速度の調節について

垂直周波数75HzのCRTを用いて滑らかなピクセル単位スクロール表示を実現するため、垂直同期をx回待って、yドット進めることにより、 $75y/x$ [dot/sec]の速度のスクロール表示を実現している。xとyはともに整数であるため、スクロール速度を一定間隔で設けることができない。そこで、実現可能な速度から、実験参加者が調節する範囲(最小値と最大値はほとんど調節に用いられることがないのでこの範囲としない)においてできるだけクリック回数と速度の関係が線形となるように速度を選択した。この速度の値を図A.1に示す。行単位のスクロール表示の場合は、移動が不連続的であるので、1行を進める際に待つ垂直同期の回数を行ごとに変化させることにより(たとえば、

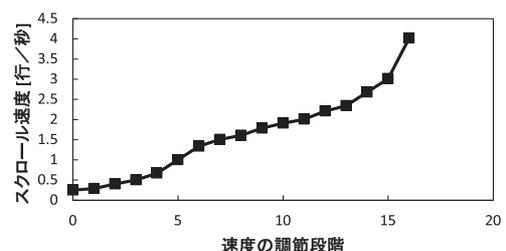


図 A.1 各調節段階における行の移動速度

Fig. A-1 Actual scrolling rate as a function of the grade of scrolling rate.

垂直同期 x_1 回待つて1行進める操作と, x_2 回待つて1行進める操作を交互に行う) 速度の微調整を行っても, 読み手がそれと気づくことがないので, この方法により, ピクセル単位のスクロール表示において設定した速度に合わせて速度を設定した.



石井 亮登

2010年筑波大学図書館情報専門学群卒業. 2012年筑波大学大学院図書館情報メディア研究科博士前期課程修了. 現在は株式会社ナカヨ通信機に所属.



森田 ひろみ (正会員)

1994年東京大学大学院人文科学研究科心理学専攻博士課程単位取得退学. 2002年筑波大学図書館情報学系講師. 現在, 筑波大学図書館情報メディア系講師. 日本心理学会, 日本認知科学会各会員. 博士(心理学).