

視点移動抑制レイアウトと視点移動代替機構を有する 読書インタフェースの読み効率評価

Study of Reading Interface with Substitution of Moving Text for Saccadic Eye Movement

小林 潤平*1
Junpei KOBAYASHI

関口 隆*1
Takashi SEKIGUCHI

新堀 英二*1
Eiji SHINBORI

川嶋 稔夫*2
Toshio KAWASHIMA

*1大日本印刷株式会社
Dai Nippon Printing Co., Ltd.

*2公立ほこだて未来大学
Future University-Hakodate

We propose a new indentation format of electronic text for tablet computer to improve reading speed. The format substitutes the saccadic eye movement during reading lines with vertical scroll of text lines by touch pad. We compared reading speed of electronic documents rendered for various indentation formats. In the case of the left alignment format that substitutes vertical scrolling of a single line for a single horizontal saccade, the reading speed stays unchanged. However, by applying stepwise incremental indent, the reading speed is increased. The enhancement of reading speed seems to be related to the optimization of eye movement and the visibility of moving text.

1. はじめに

人間の視野は、中心窩と呼ばれる解像度の高いおよそ直径 5° の視野範囲と、そのまわりの解像度の低い周辺視野から構成されている。解像度の低い周辺視野では文字を識別できないために、人間は解像度の高い中心窩を5~6文字程度の間隔でずらしながら文章を読み進めていく[神部 1986, Osaka 1991]。文字を認識している間の停止状態を停留、次の停留点への移動運動をサッカードと呼ぶ。

読みは停留とサッカードの繰り返しであり、不要な停留とサッカードの削減が読み効率の向上につながる。紙の本では文字が固定されているために眼球側の移動が不可欠であるが、電子ディスプレイでは文字を動的に書き換えられるために、眼球側は固定していても、文字側の移動にて読み進めることが可能となる。この特性を応用し、レイアウトによってサッカードを制御するとともに、効率的な文字側の移動機構を組み合わせたことができれば、読み効率は向上する可能性が高い。

そこで本研究では、視点移動を抑制する文書レイアウトと、タッチパネル操作によるサッカード代替機構、を組み合わせた読書インタフェースを開発し、その効果を検証した。

2. 読書インタフェース

短く改行された文章によって左右方向への視点移動を抑制すると同時に、上下方向に視点移動しなくとも読み進められるようユーザ自身のスクロール操作で行送りしながら読み進む読書インタフェースを構築した。

本研究で効果を検証した読書インタフェースを図1に示す。(A)画面幅改行レイアウトは、画面幅まで横方向に文字を流し込み、画面右端で基本的な禁則処理を伴って改行する、一般的な組版である。(B)句読点改行レイアウトは、本文に含まれる句読点の直後で改行するレイアウトである。1行の平均文字数は、(A)のおよそ半分である。(C)中心窩文節改行レイアウトは、中心窩に収まるように1行を8文字以下としたものである。被験者の眼球とディスプレイの距離はおよそ40cmであることから、解像度の高い中心窩の範囲は直径およそ 3.5 cm 、

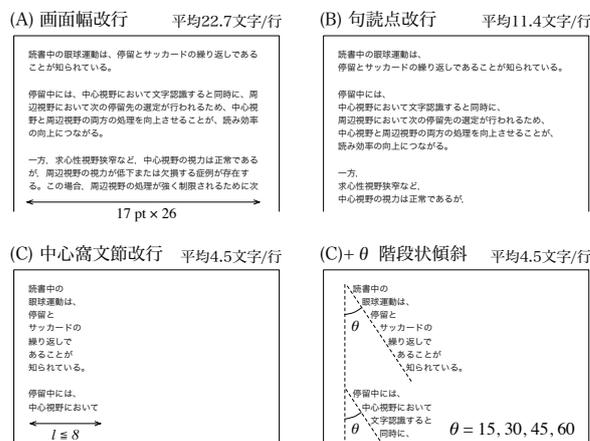


図1: 読書インタフェース

ディスプレイ上では左右方向に7~8文字となる。したがって、左右方向へサッカードしなくとも、1行に含まれる全ての文字を認識することが可能である。また、各行の行末が文節の切れ目となるように、コンテンツを形態素解析して改行位置を決定するアルゴリズムを、あわせて実装した。さらに、(C)において、行頭に階段状の傾斜を付加したレイアウト(C)+ θ ($\theta = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$)を構築した。 θ は行頭の傾斜角を示し、(C)+ 0° と(C)は同一である。階段形状は段落毎に付加し、段落先頭行は常に左端に描画される。

3. 実験

14名の晴眼者を被験者とし、読みの変化をnac社製視線検出装置EMR-9にて計測した。

電子リーダー端末は、Apple社製iPad(9.7 inch, 264 ppi)を利用し、縦向きに制限した。コンテンツは、星新一氏のショートショート作品から文字数3000程度の14編を選出し、それぞれについて(A)~(C)+ θ を作成した。17ポイントの「ヒラギノ角ゴシックProW3」を使用し、フォント色は黒、背景色は白、とした。コンテンツはiPad上の標準Webブラウザで描画し、被験者自身のスクロール操作で読み進めた。

(A)~(C)+ θ の閲覧順、コンテンツ内容の差異、およびコン

連絡先: 小林 潤平, 大日本印刷株式会社, 東京都新宿区市谷加賀町 1-1-1, kobayashi-j3@mail.dnp.co.jp

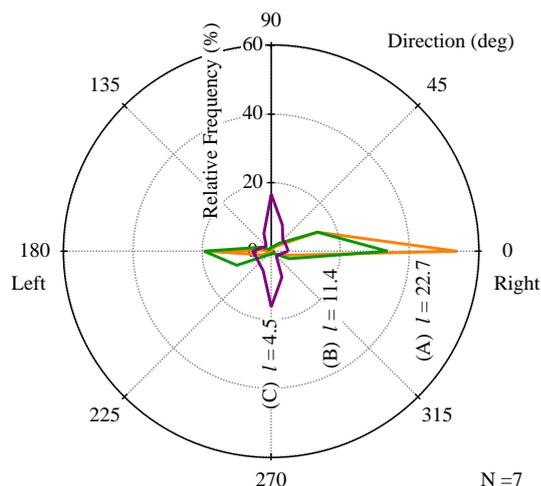


図 2: 視点移動方向の分布 (読みの順方向が 0°)

テック複数回閲覧による影響を排除するため、(A)~(C)+ θ の閲覧順とコンテンツの組み合わせは被験者毎に変更し、ひとつのコンテンツの閲覧は被験者あたり1回と制限した。また、被験者にはコンテンツ内容について質問することを事前に伝えるとともに、読後に簡単なクイズ形式でその内容を質問した。質問に答えられない場合は、その測定データを破棄した。

なお、全ての被験者に対し、被験者母集団の読み速度傾向を調査するために、販売されている紙の本をスキャンし、そのまま画像化した縦組み固定レイアウト文書データをiPadで読んでいるときの、読み速度を調査した。その結果、平均570.3±31文字/分 ($\sigma^2 = 178.9 \pm 30.8$)の集団であることがわかった。

4. 結果

4.1 視点の左右移動を抑制する効果

視点の左右移動を抑制するために改行位置を変化させると、視点移動の方向も変化した。各レイアウト毎に正規化した視点移動方向分布を、図2に示す。(A)画面幅改行レイアウトおよび(B)句読点改行レイアウトの場合は、左右方向への視点移動が多く、上下方向への視点移動は少ないことがわかる。また(B)の場合、1行あたりの文字数が(A)の半分まで減少し、それに伴ってコンテンツ全体の行数が増加した結果、右方向への視点移動割合が(A)の半分程度まで減少し、左方向への視点移動(180~202.5°)が増加した。さらに1行を短くした(C)中心窩文節改行レイアウトの場合は、左右方向への視点移動はほぼ消失した。

図3に、コンテンツ全体を読んだときの総サッカド長と総スクロール長、および、1行あたりの読み時間とスクロール時間率の変化を示す。誤差範囲は95%信頼区間を表す。1行を短くすると、総サッカド距離は減少し、反対に、総スクロール距離は増加した。また、1行あたりの文字数が減少することで、1行あたりの読み時間は減少し、スクロール時間率(文字を動かし続けている時間率)は増加した。これらの変化は、1行を短くするほど、左右方向の眼球サッカド運動が、上下方向のスクロール操作に代替されたことを意味する。

このときの読み速度の変化を、図4に示す。誤差範囲は95%信頼区間を表す。画面幅一杯まで文字を流し込む(A)画面幅改行レイアウトの読み速度は、平均650文字/分であった。1行あたりの文字数を(A)の半分まで減少させた(B)句読点改

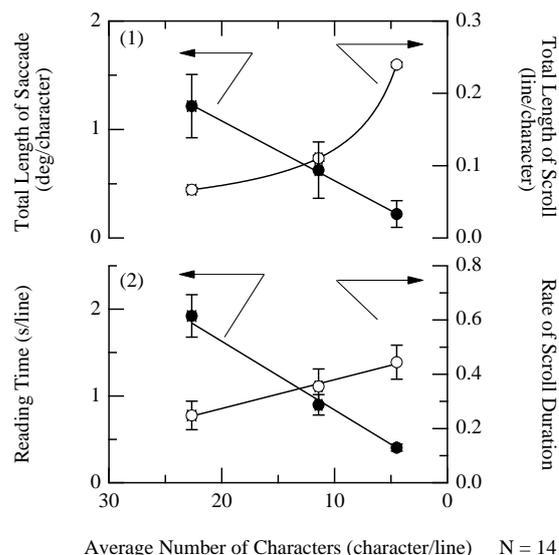


図 3: (1) 総サッカド長と総スクロール長 (2) 1行あたりの読み時間とスクロール操作時間率

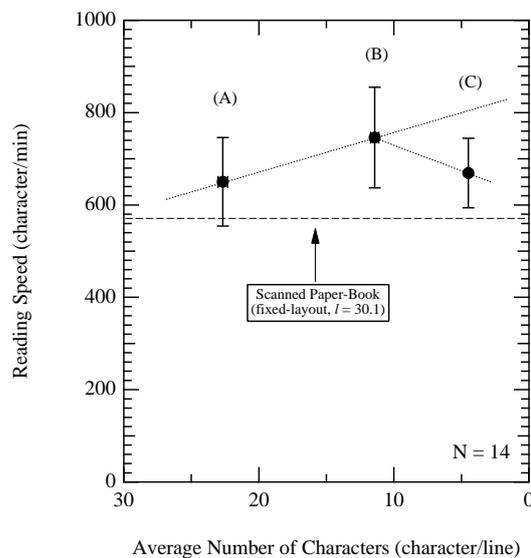


図 4: 読み速度

行レイアウトでは、読み速度は(A)よりも15%大きく、平均746文字/分となった。一方、1行の文字数をさらに減少させた(C)中心窩文節改行レイアウトでは、平均669文字/分となった。

以上より、左右方向への視点移動を、1行を短くすることでスクロール操作に代替した結果、一部を代替する(B)で読み速度が向上したものの、さらに代替を進めた(C)では読み速度が低下する傾向がみられた。その理由について考察する。

読み速度は、眼球運動からスクロール操作へ代替する機構が効率的であれば、代替が進むにつれて向上する方向に作用し、代替が非効率的であれば低下する方向に作用する。

まず、1サッカド距離を1行に対応させるレイアウトについて検討する。神部は、サッカド距離は1~10文字の間に分布し、そのピークは2~5文字にあること[神部 1986]、荳阪らは、縦組みの日本語文のサッカド距離は、5~6文字[Osaka 1991]

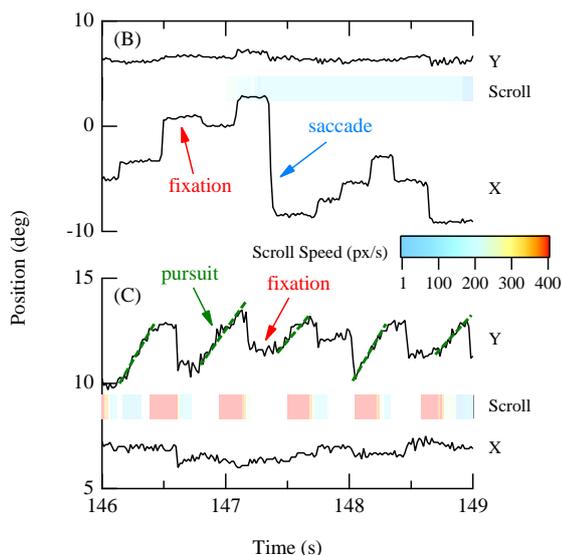


図 5: (B) 句読点改行レイアウトと (C) 中心窩文節改行レイアウトにおける視点移動とスクロール操作

と報告している。また、文章の区切りに関して、中條らは、スクロール表示において、5文字を越えるあたりから通常の読みと同様の形態素解析の一括的処理が行われるようになると報告している [中條 1993]。本研究における (C) 中心窩文節改行レイアウトは、1行あたり平均 4.5文字であり、神部および芋阪らによって報告されている値とほぼ同じであることから、(C) においては、1サッカド距離と1行が無理なく対応できているものと推察される。また、(C) の改行位置は文節位置となっており、中條らの報告する形態素解析の一括的処理による読みを、妨げるものではないと推察される。

次に、1サッカド運動を1行スクロールに対応させる機構について検討する。図 5に、1名の被験者による (B)(C) 閲覧時の視点移動軌跡を示す。図中の X と Y はそれぞれ視点移動方向を示し、X 方向と読み方向、Y 方向とスクロール方向が、それぞれ一致する。また、スクロール操作による文字移動速度は図中のカラースケールに対応し、無色はスクロール停止状態を示す。図 5-(B) 句読点改行レイアウトの場合は、大きく分けて、スクロールを固定して読む場合と、非常にゆっくりとスクロールさせながら読む場合の二通りが観察された。前半はスクロールを停止して読み、後半は、行末から行頭に移動する際にスクロール操作で行送りし、そのまま非常にゆっくり動かし続けていることがわかる。読み方向 X に関しては、サッカドと停留が明確にわかれており、通常の読みに近いことがわかった。以上の傾向は (A) においても同様に観察された。一方、図 5-(C) 中心窩文節改行レイアウトの場合、スクロール Y 方向において、サッカドと停留に加え、スクロール操作によって上下に移動する文字を目で追う追従運動が多く観察された。図 2 において上下方向の視点移動が (C) のみに観察されているように、追従運動は (C) に特異な読みであった。

中條らは、スクロールする文字を読む場合の最適速度を 187 ms/文字 (321 文字/分) [中條 1993]、また、八木らは、7~15 文字程度の表示文字数が確保されている場合の文字スクロール最適速度を 350~450 文字/分 [八木 2010] と報告している。これらの値は、本実験の被験者 14 名の平均読み速度 570 文字/分よりも遅い。よって、同一の被験者ではないために確実ではないが、移動する文字を追従運動で読む場合、読み速度は低下

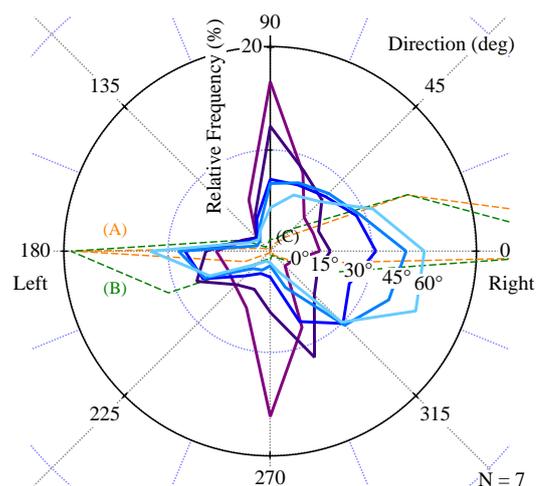


図 6: 視点移動方向の分布 (読みの順方向が 0°)

する方向に作用すると推察される。

窪田らは左方向、石井らは上方向に横書き文字列が自動スクロールするときの最適表示速度を調査し、文字単位よりもピクセル単位で移動する方が、最適表示速度が大きくなることを報告している [窪田 2003, 石井 2010]。このことは、文字の移動が一定かつ連続的である方が読みやすいことを示唆している。本研究で構築した読書インタフェースでは、ピクセル単位でスクロールするために連続的ではあるが、読み手自身の操作によってスクロールするために、その移動速度は一定とならない。しかし、1行の文字列が多い (A) および (B) においては、行内で複数回サッカドが発生するために1行あたりの読み時間が比較的長く、図 5-(B) のようにスクロールを止めた状態で読み進めたり、ゆっくりと一定の速度で動かしたりしながら読み進めることが可能であると推察される。これは読み速度を向上させる方向に作用する。一方、1行が1サッカドに相当する (C) では、次々とスクロールしていかないと読み進めることができず、頻繁に操作するために速度の増減も大きくなる。これは読み速度を低下させる方向に作用する。

以上より、左右方向の視点移動の一部を代替する (B) 句読点レイアウトの場合は、行内の視点移動が通常の停止した文字を読む読みとほぼ同じであり、そこに、行間の視点移動距離の減少効果が効いたために、読み速度が向上したと推察される。一方、さらに代替を進めた (C) 中心窩文節改行レイアウトの場合は、左右方向へ視点移動が不要であり、左右方向の代替効率は最大限向上している一方、上下方向に移動する文字を捕捉し読む代替機構の効率が不足しているために、読み速度が向上しなかったと推察される。

そこで本研究では、視点移動を抑制しつつも追従読みの効率をあげる仕組みとして、(C) の行頭群に階段状の傾斜を付与するレイアウトを考案した。次節にてその効果を検証する。

4.2 階段状レイアウトの効果

行頭群に傾きを付加したときの視点移動方向の変化を、図 6 に示す。行頭群を傾斜させることで、(C) では観察されなかった左右方向への視点移動が発生した。また、付加した傾斜に沿った方向 ($270^\circ + \theta$) への視点移動も多く観察された。この視点移動を、左右方向 X 成分 ($0^\circ, 180^\circ$) および上下方向 Y 成分 ($90^\circ, 270^\circ$) に分解したのが、図 7 に示す、1名の被験

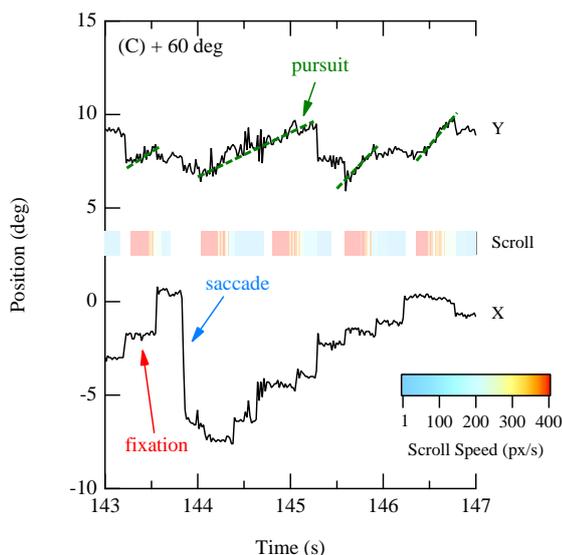


図 7: 60° 傾斜角を付加した中心窩文節改行レイアウトにおける視点移動とスクロール操作

者による (C)+60° 閲覧時の視点移動軌跡 XY である。上下 Y 方向は追従運動、左右 X 方向は停留とサッカド運動を繰り返していることがわかる。

ここで重要なのは、左右方向へのサッカドが、上下方向に追従運動中およびスクロール操作中にも発生していることである。これは、動く文字に追従するだけでなく、動く文字から動く文字に次々と視点移動しながら読んでいることを意味する。このときの 1 行あたりの読み時間とスクロール時間率の変化を示したのが、図 8-(2) である。傾きが大きくなることで、1 行あたりの読み時間が 7% 減少するとともに、スクロール時間率が 19% 増加している。この変化からも、階段状傾斜の付加によって、文字を止めずに動かし続ける読みに変化したことがわかる。したがって、階段状傾斜には、移動する文字への追従、および、動く文字列の適切な位置への視点移動を容易にする効果があると推察される。

このときの読み速度を示したのが、図 8-(1) である。誤差範囲は 95% 信頼区間を表す。読み速度はほぼ正規分布に従っており、ガウス関数でカーブフィッティングを実施したときの中央値を平均読み速度として採用した。60° 傾斜角を付与した中心窩文節改行レイアウトの読み速度は、傾き 0° の (C) よりも 8% 上昇し、平均 728 文字/分であった。この値は (B) 句読点改行レイアウトの読み速度 746 文字/分に匹敵する。ただし、傾きが大きくなるにつれて平均読み速度は増加したが、その一方で、被験者母集団の分散も大きくなり、ウェルチの t 検定による (C)+θ 群間の母平均比較では、その差は有意とはならなかった。ただし、誤差範囲の下限は低下していないことから、読み効率が低下する方向には作用していないと推察される。

以上より、階段状傾斜には、移動する文字への追従、および、移動する文字列間の視点移動を容易にする効果があり、読み効率を向上させる方向に作用すると推察されるが、その効果に関しては、被験者間のばらつきが大きいことがわかった。

5. おわりに

短く改行された文章によって左右方向への視点移動を抑制すると同時に、上下方向に視点移動しなくとも読み進められるようユーザ自身のスクロール操作で行送りしながら読み進む

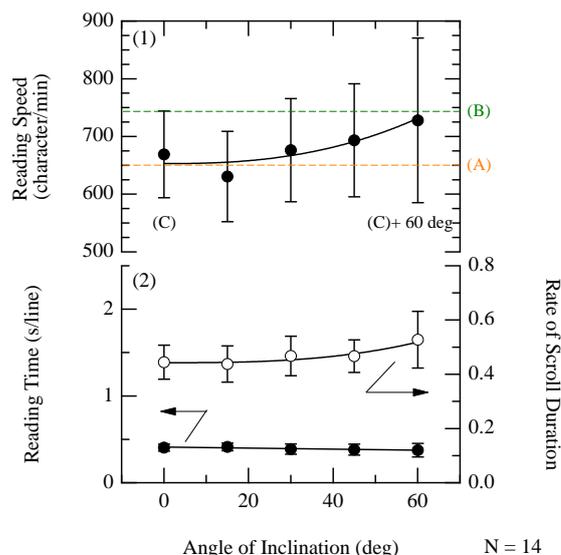


図 8: (1) 読み速度 (2) 1 行の読み時間とスクロール時間率

読書インタフェースを構築した。左右方向の眼球サッカドをすべて上下方向のスクロールに代替した場合、左右方向への視点移動が不要となるために眼球運動は大幅に減少するが、必要なスクロール量が増大するとともに、移動する文字を捕捉し読むことの難しさから、読み速度は向上しなかった。しかし、文字列の左端に階段状の傾斜を付加することで、被験者間のばらつきが大きいものの、読み効率は全体的に向上する傾向が見られた。階段状傾斜によって、移動する文字への追従、および、移動する文字列間の視点移動を容易にする効果が発現したものと推察される。今後、視点移動を効率的に代替する仕組み、および、移動する文字列の視認を容易にする仕組みについて、さらに検討していく予定である。

謝辞

視点移動は、公立ほこだて未来大学 松原 仁 教授には機材の便宜をお図り頂き、公立ほこだて未来大学学生の方々には被験者としてご協力頂き、測定した。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- [神部 1986] 神部尚武, “日本語の読みと眼球運動,” 読み: 脳と心の情報処理, 朝倉書店, 1-16, 1998.
- [Osaka 1991] N. Osaka and K. Oda, “Effective visual field size necessary for vertical reading during Japanese text processing,” Bulletin of the Psychonomic Society, vol. 29, no. 4, pp. 345-347, 1991.
- [中條 1993] 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.
- [窪田 2003] 窪田悟, 伊藤瑞穂, 岡田想, 小田泰久, “横スクロール文字の可読性,” 映像情報メディア学会誌: 映像情報メディア, vol. 57, no. 11, pp. 1595-1597, 2003.
- [八木 2010] 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.
- [石井 2010] 石井亮登, 坂田正伸, 森田ひろみ, “縦スクロール表示において表示方法が読み速度に与える影響,” 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理, vol. 110, no. 34, pp. 103-108, May 2010.