文字配置と背景着色の工夫がもたらす日本語電子リーダーの読み速度向上

Improving Reading Speed of Electronic Japanese Text by Character Alignment and Background Coloring

小林 潤 平^{†,††}, 新堀 英 二[†], 川嶋 稔 夫^{††}

Jumpei Kobayashi^{†,††}, Eiji Shinbori[†] and Toshio Kawashima^{††}

あらまし 文章を読み進める目の動きを効率化することで、読み心地や理解度を維持したまま読み速度の向上を図るための、電子リーダー上での日本語表示方式を提案する。読者が読みやすいと感じる一行の長さは 20～29 文字程度であるが、既存方式では行長が短いほど読み速度は低下するため、最大速度で読むためには一行 40 文字程度の行長が必要という課題があった。そこで本研究では、文節にもとづく改行位置の調整および文字ベースラインを文節単位で階段状に下げていく既存手法に加えて、新たに「隔行単位の背景着色」「行間隔の拡張」「階段状の行頭インデント」「行頭文節の微振動」の 4 手法を組合せた表示方式を考案し、その効果を読み速度や眼球運動の点から検証した。その結果、提案方式では、読者が読みやすいと感じる一行 20～29 文字の行長でも、一行 40 文字の場合と同等の最大速度で読めることがわかった。また、読み速度の向上は、停留数の減少に起因していることがわかった。

キーワード：読み、可読性、電子書籍、日本語レイアウト、眼球運動

1. ま え が き

多くの情報が文字で伝達される現在、もし電子リーダーの工夫によって「読み」を効率化できれば、その効果の大きさは計り知れない。

読書中の眼球運動は停留とサッカードの繰り返しであり^{1)～3)}、読みに適した場所へ停留できないと、非効率な眼球運動が発生し読み速度の低下をまねく^{4)～6)}。

日本語文章中の読みに適した停留場所は、文節に対応しているとされる³⁾⁷⁾。しかし、漢字と仮名が混合した日本語文章の場合、次の停留場所を決める手掛かりは視覚的に目立つ漢字であるため^{8)～10)}、英語のような単語間のスペースを、漢字と仮名が混合した日本語文章の文節間に挿入しても、読みは速くならないことが報告されている^{10)～17)}。

近年、電子リーダーに対して「改行位置を文節間に設定する手法」¹⁸⁾¹⁹⁾ならびに「文節単位で文字ベースラインを階段状にずらす手法」²⁰⁾や「文節単位で文字を左右に微振動させる手法」¹⁹⁾を適用すると、文節単位の視点移動が促進され、読み心地や理解度を維持したまま、速く読めるとの結果が報告されている^{18)～22)}。ただし、これら手法を適用した場合でも、行長が短いほど読み速度は低下するため、最大速

度で読むには一行 40 文字程度の長さが必要であった。一方で、読者が読みやすいと感じる行長は、一行 20～29 文字程度であることが報告されている²³⁾。すなわち、読み速度の向上が発現した既存方式においても、読者が読みやすいと感じる一行 20～29 文字程度の行長では最大速度を発揮できない、という課題が残っていた。

そこで本研究では、読みやすいと感じる一行 20～29 文字でも、一行 40 文字の行長と同等の速度で読める表示方式を見出すべく、既存方式のなかで最も速く読める「文節単位の階段状ベースラインを有する文節間改行レイアウト」²⁰⁾に対し、新たに「隔行単位の背景着色」「行間隔の拡張」「階段状の行頭インデント」「行頭文節の微振動」の 4 手法を組合せた表示方式を提案し、その効果を読み速度や眼球運動を指標に検証することとした。

2. 提 案 方 式

本研究で提案する表示方式は、既存方式のなかで最も速く読める「文節単位の階段状ベースラインを有する文節間改行レイアウト（以降、「ベンチマーク方式」と呼ぶ）」²⁰⁾に対し、新たに「隔行単位の背景着色」「行間隔の拡張」「階段状の行頭インデント」「行頭文節の微振動」の 4 手法を組合せたものである。

まず、基になるベンチマーク方式を図 1 に示す。ベンチマーク方式は、改行位置を文節間に設定する手法と、行頭から行末にかけて文節単位で文字高の 7.5% 分ずつ文字ペー

2017 年 3 月 31 日受付, 2017 年 6 月 23 日再受付, 2017 年 7 月 21 日採録

[†] 大日本印刷株式会社

(〒162-8001 新宿区市谷加賀町 1-1-1)

^{††} 公立はこだて未来大学

(〒041-8655 函館市亀田中野町 116-2)

図 1 ベンチマーク方式の模式図（既存方式のなかで最も速く読める「文節単位の階段状ベースラインを有する文節間改行レイアウト」²⁰⁾）。

スラインを下げていく手法を組合せたものである。

次に、本研究で新たに組合せる 4 手法を図 2 に示す。ベンチマーク方式の「文節単位で文字ベースラインを階段状にずらす手法」は、読んでいる行において、次の停留先の選定を容易にする効果を狙ったものであった。本研究の 4 手法はその効果に加えて、読んでいる行とその上下行の区別を容易にする効果を狙ったものである。

(a) 隔行単位の背景着色

画面全体の背景は白色とし、文字背景については白色（#ffffff）と灰色（#f5f5f5）の 2 色を交互に着色した。

(b) 行間隔の拡張

行間を文字高と同じ広さに設定した。この行間の広さは、ベンチマーク方式の 2.75 倍に相当する。

(c) 階段状の行頭インデント

行頭が階段状の傾斜をもつように、各行のインデント量を文字幅の 2/3 ずつ増やし、次段落の最初の文節で左端に戻した。

(d) 行頭文節の微振動

行頭の文節には微振動を付与した。段落先頭の文節を除き、行頭文節を順に 4 グループに分け、250 ms ずつ位相をずらし、文字そのものを振動させた。振幅は文字幅の 3% である。振動の周期は 1000 ms であり、素早く左に動き、ゆっくり右に戻る動きを繰り返す。振動は閲覧終了まで継続する。なお、段落先頭の文節については、提案方式では段落間が文字高の 3 倍と広く、前行との区別が容易であると判断したため、微振動付与の適用外とした。

これら手法を組合せることで、視点移動の改善と読み速度の向上を図った。本研究の提案方式を図 3 に示す。改行に関してはベンチマーク方式と同様に、あらかじめ一行の基準文字数を設定し、各行それぞれ基準文字数を超えない条件で最長となる文節間に改行を挿入した¹⁸⁾¹⁹⁾。また、文字ベースラインに関してもベンチマーク方式と同様に、文節単位で階段状になるように、行頭から行末にかけて文節単位で文字高の 7.5% 分ずつ下げていった²⁰⁾。このとき、文字の背景色も文字ベースラインと連動して階段状となる。提案方式の表示例を図 4 に示す。

(a) 隔行単位の背景着色

(b) 行間隔の拡張

(c) 階段状の行頭インデント

(d) 行頭文節の微振動

図 2 本研究で新たに追加された 4 手法。(a) 隔行単位の背景着色、(b) 行間隔の拡張、(c) 階段状の行頭インデント、(d) 行頭文節の微振動。

3. 実験

提案方式をベンチマーク方式と比較し、効果を検証した。

3.1 実験協力者

大学生 10 名が、実験協力者として参加した。

3.2 刺激

電子リーダーは横書きの縦スクロール型とし、Apple 社製 iPad で表示した。画面サイズは対角 9.7 inch、画面解像度は 264 ppi であった。文字色は黒、文字サイズは 4.4 mm、

図3 提案方式の模式図。

本研究では、読み心地や理解度を
維持したまま自然と速く読むことができる
日本語電子リーダーを提案する。

電子リーダーの設計にあたっては、
人間の視覚特性に起因する読書中の
眼球運動の特徴を考慮することが
重要である。読書中の眼球運動は停留と
サッカードの繰り返しであり、スムーズな
視点の移動が読み効率の向上につながる。

図4 提案方式による文章表示例（印刷物で識別できるように、背景の灰色部分は実際よりも濃く着色している）。

フォントは「ヒラギノ角ゴシック ProW3」とした。刺激文章は星新一氏のショートショート作品とし、1話の文字数が2100字程度（約450文節）の12話を用いた。

3.3 手続き

実験協力者10名について、表示方式（提案方式とベンチマーク方式の2種類）、一行の基準文字数（20, 29, 40の3段階）、および刺激文章を変更しながら、読み速度と眼球運動を計測した。実験協力者あたり1話1回のみの閲覧に制限するとともに、読む文章や読む順番を含む実験条件の組合せについてカウンターバランスをとった。理解度を確認するために、文章を読み終えた直後に、熟読したり暗記しなくとも飛ばし読みをせずに読めば答えられる程度の簡単な質問を出題した。読後の質問に答えられなかった場合の計測データは棄却し、文章を変更して再計測した。表示方式間の比較については、各行長において対応のあるt検定を実施し、両側5%水準で有意性を判断した。なお、探

図5 文章を読む眼球運動の模式図。(a) 停留と順行サッカードを繰り返し、改行運動によって行末から次行頭へ移る。(b) 過剰停留の定義。逆行によって発生した停留を「逆行による過剰停留」、改行時に行頭へ1回のサッカードで到達できず追加で発生した停留を「改行運動中の過剰停留」と定義。

索的な特性を含む実験であったため、検定の多重性による第一種の過誤の調整を行わないこととした。

3.4 視線分析

読書中の眼球運動は、視線検出装置（nac社製EMR-9）を用いて1/60 s間隔で計測した。

停留はサッカードの発生を基準に抽出した。停留時間はサッカード時間も含めて扱うこととし、1刺激文章あたりの読み時間を1刺激文章あたりの全停留数で除算した「平均停留時間」を採用した。

また、図5に示すように、読書中の停留とサッカードの繰り返し運動のなかで、一度通り過ぎた場所に視点を戻す読み動作は「逆行運動」、行末から次行頭に移る動作は「改行運動」と呼ばれる。効率よくなめらかに読む場合は、逆行の発生は0回、改行運動も1回のサッカードで完了することから、本研究では「逆行によって発生した停留」および「改行運動時に、行頭に1回のサッカードで到達できず、追加で発生した停留」を過剰停留と定義し、それぞれ「逆行による過剰停留」および「改行運動中の過剰停留」と呼ぶ。理想的な読みでは、逆行による過剰停留および改行運動中の過剰停留ともに0となる。

視線分析手法の詳細については文献19)を参照されたい。

4. 結果

読んだ文字数が一定ならば、読み速度は読み時間で決まる。そして、読み時間は停留数と平均停留時間で決まる。そこで本研究では、提案方式の効果検証と原因特定のために、「読み速度」「平均停留時間」「停留数」「過剰停留数」の変化を分析した。

4.1 読み速度

図6は、提案方式およびベンチマーク方式における、読み速度の変化を示したものである。縦軸は読み速度、横軸

図 6 提案方式およびベンチマーク方式における、読み速度と行長の関係。誤差範囲は標準誤差。読み速度の基準として、日本語の標準的な横書きレイアウトの読み速度もあわせて図示した。

は平均行長、誤差範囲は標準誤差である。また、読み速度の基準として、日本語の標準的な横書きレイアウトの読み速度の曲線もあわせて図示した。この曲線は、日本語標準レイアウトに対してベンチマーク方式を適用した場合の読み速度向上率¹⁹⁾²⁰⁾から算出したものである。

図 6 より、1 行の基準文字数 20 と 29 の提案方式で、読み速度はベンチマーク方式よりも向上していることがわかった。各行長の t 検定では、一行の基準文字数 20 で $t[9] = 3.17$, $p = 0.01$, および一行の基準文字数 29 で $t[9] = 2.24$, $p = 0.05$ と、両側 5% 水準で有意差が認められた。また、提案方式において、一行の基準文字数 20, 29, 40 の間には、有意差が認められなかった。

したがって提案方式では、ベンチマーク方式では読み速度の低下が否めなかった一行の基準文字数 20 および 29 の行長において高速化を実現し、一行の基準文字数 40 の場合と同等の速さで読めることがわかった。

4.2 平均停留時間

図 7 は、提案方式およびベンチマーク方式における、平均停留時間の変化を示したものである。縦軸は平均停留時間、横軸は平均行長、誤差範囲は標準誤差である。なお、各実験協力者の停留時間は 100 ~ 400 ms 程度のばらつきをもつが³⁾、本研究では「1 刺激文章あたりの読み時間を全停留数で除算した時間」を平均停留時間と定義したために、図 7 の誤差範囲は実験協力者 10 名の「平均停留時間」のばらつきを示している点に注意されたい。

図 7 より、平均停留時間については、1 行の基準文字数 20, 29, 40 において、表示方式間に有意差は認められなかった。

図 7 提案方式およびベンチマーク方式における、平均停留時間と行長の関係。誤差範囲は標準誤差。

図 8 提案方式およびベンチマーク方式における、刺激文章 1000 文字あたりの停留数と行長の関係。誤差範囲は標準誤差。

4.3 停留数

図 8 は、提案方式およびベンチマーク方式における、1 刺激文章あたりの停留数の変化を示したものである。1 刺激文章あたりの停留数の比較には、1000 文字で正規化した値を用いた。左軸は刺激文章 1000 文字あたりの停留数、横軸は平均行長、誤差範囲は標準誤差である。

図 8 より、停留数については、1 行の基準文字数 20 と 29 の提案方式で、ベンチマーク方式よりも減少していることがわかった。各行長の t 検定では、1 行の基準文字数 20 で $t[9] = 3.28$, $p = 0.009$, および 1 行の基準文字数 29 で $t[9] = 3.22$, $p = 0.01$ と、両側 5% 水準で有意差が認めら

図 9 提案方式およびベンチマーク方式における、刺激文章 1000 文字あたりの逆行による過剰停留数と行長の関係。誤差範囲は標準誤差。

図 10 提案方式およびベンチマーク方式における、刺激文章 1000 文字あたりの改行運動中の過剰停留数と行長の関係。誤差範囲は標準誤差。

れた。一方、1 行の基準文字数 40 においては、両側 5%水準で有意差は認められなかった。

4.4 過剰停留数

過剰停留の影響を検証するために、逆行による過剰停留数と、改行運動中の過剰停留数について分析した。

図 9 は、提案方式およびベンチマーク方式における、逆行による過剰停留数の変化を示したものである。1 刺激文章あたりの逆行による過剰停留数の比較には、1000 文字で正規化した値を用いた。縦軸は刺激文章 1000 文字あたりの逆行による過剰停留数、横軸は平均行長、誤差範囲は標準誤差である。

図 9 より、逆行による過剰停留数については、1 行の基準文字数 20 と 29 の提案方式で、ベンチマーク方式よりも減少していることがわかった。各行長の t 検定では、1 行の基準文字数 20 で $t[9] = 3.10$, $p = 0.01$, および 1 行の基準文字数 29 で $t[9] = 4.37$, $p = 0.002$ と、両側 5%水準で有意差が認められた。一方、1 行の基準文字数 40 においては、両側 5%水準で有意差は認められなかった。

図 10 は、提案方式およびベンチマーク方式における、改行運動中の過剰停留数の変化を示したものである。1 刺激文章あたりの改行運動中の過剰停留数の比較には、1000 文字で正規化した値を用いた。縦軸は刺激文章 1000 文字あたりの改行運動中の過剰停留数、横軸は平均行長、誤差範囲は標準誤差である。

図 10 より、改行運動中の過剰停留数については、1 行の基準文字数 20, 29, 40 において、表示方式間に有意差は認められなかった。

したがって、過剰停留については、逆行による過剰停留数のみ、提案方式で減少していることがわかった。

5. 考 察

提案方式では、1 行の基準文字数 20 および 29 において、ベンチマーク方式よりも速く読めることがわかった。このとき、図 7 と図 8 より、停留数は減少したが、平均停留時間は変化していないことがわかった。したがって、提案方式による読み速度の向上は、停留時間の短縮ではなく、停留数の減少に起因するものと推察される。

停留数については、図 9 より、逆行による過剰停留が減少していることがわかった。また、刺激文章あたりの文節数と停留数から一文節あたりの平均停留数を算出すると、一行の基準文字数 20 の提案方式では、ベンチマーク方式よりも 7%減少して 1.07 ± 0.05 回 (S.E.; $N=10$) に、一行の基準文字数 29 の提案方式では、ベンチマーク方式よりも 8%減少して 1.05 ± 0.06 回 (S.E.; $N=10$) へと、改善されていることがわかった。提案方式では一文節あたりの平均停留数が 1 回に近づいていることから、より適した場所へ停留しながら読み進められるようになり、その結果として、停留数の減少に至った可能性が示唆された。

読み速度については、提案方式では、一行の基準文字数 20 または 29 の行長でも、一行の基準文字数 40 の行長と同等の速さで読めることがわかった。そして、行長に関する実験協力者の読後評価によると、提案方式において読みやすいと感じる行長の選択率（複数選択可）は、一行の基準文字数 20, 29, 40 でそれぞれ 80%, 70%, 30%であり、提案方式においても、一行 20 ~ 29 文字程度の行長が読みやすいと感じたことがわかった。この結果は、読みやすいと感じるにもかかわらずベンチマーク方式では読み速度の低下が避けられなかった、一行 20 ~ 29 文字の行長におい

て改善効果が認められた点で、重要な意味をもつ。

一方、各手法の読みやすさに関する実験協力者の読後評価によると、提案方式を構成する4手法のうち、「(a) 隔行単位の背景着色」「(b) 行間隔の拡張」「(c) 階段状の行頭インデント」の3手法については、100%の実験協力者が「読みやすい」または「気にならない」と回答した。しかし、「(d) 行頭文節の微振動」の手法については、「読みやすい」または「気にならない」と回答した実験協力者は60%と少なく、「気になるが読むことには支障ない」または「読みにくい」との回答がそれぞれ20%であった。ただし、「気になるが読むことには支障ない」または「読みにくい」と回答した計40%の実験協力者も、読み速度としては平均10%程度向上していた。

また、4手法それぞれ単独での効果を検証した予備実験の結果では、読み速度の向上率は「(a) 隔行単位の背景着色」で平均0.8% (N=5)、「(b) 行間隔の拡張」で平均1.6% (N=5)、「(c) 階段状の行頭インデント」で平均5.6% (N=5)、「(d) 行頭文節の微振動」で平均1.5% (N=5)と、単独での効果は小さかった。

以上の結果をふまえると、提案方式では4手法を組合せることで読み速度の向上効果を発揮しているものと推察されるが、各手法が読み速度や読み心地にあたえる影響については、今後さらなる検証が必要である。

6. む す び

文節にもとづく改行位置の調整および文字ベースラインを文節単位で階段状に下げっていく既存手法に加えて、新たに「隔行単位の背景着色」「行間隔の拡張」「階段状の行頭インデント」「行頭文節の微振動」の4手法を組合せた提案方式では、先行研究のなかで最も速く読めていた表示方式「文節単位の階段状ベースラインを有する文節間改行レイアウト（ベンチマーク方式）」よりも、さらに速く読めることがわかった。また、提案方式では、読者が読みやすいと感じる一行20～29文字の行長においても、既存方式とは異なって読み速度は低下せず、一行40文字の場合と同等の速度で読めることがわかった。提案方式における読み速度の向上は、停留数の減少に起因していることがわかった。

最後に、公立はこだて未来大学 松原 仁 教授に機材の便宜をお借りいただくとともに、学生の方々に実験にあたって多大なご協力をいただいた。ここに感謝の意を表する。

〔文 献〕

- 1) K. Rayner and A. Pollatsek: "The psychology of reading", Lawrence Erlbaum Associates (1989)
- 2) 斎田: "読みと眼球運動", 眼球運動の実験心理学, 名古屋大学出版会, 第8章, pp. 167-198 (1993)
- 3) 神部: "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, 第1章, pp. 1-16 (1998)
- 4) 山本: "読書と眼球運動に就ての一実験", 心理学研究, 10, 5-6, pp. 773-787 (1935)
- 5) 斎田: "速読と眼球運動", 基礎心理学研究, 23, 1, pp. 64-69 (2004)
- 6) T. Kawashima, T. Terashima, T. Nagasaki and M. Toda: "Enhancing visual perception using dynamic updating of display",

Intuitive Human Interfaces for Organizing and Accessing Intellectual Assets (Eds. by G. Grieser and Y. Tanaka), Vol. 3359 of Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin Heidelberg, pp. 127-141 (2005)

- 7) 中條: "「読み」の認知モデル: 日本語文章の読みに関する実験的研究", 協同出版 (1999)
- 8) N. Osaka: "Effect of peripheral visual field size upon eye movements during Japanese text processing", Eye Movements from Physiology to Cognition (Eds. by J. O'Regan and A. Lévy-Schoen), Elsevier, pp. 421-429 (1987)
- 9) N. Osaka: "Eye fixation and saccade during kana and kanji text reading: Comparison of English and Japanese text processing", Bulletin of the Psychonomic Society, 27, 6, pp. 548-550 (1989)
- 10) M. Sainio, J. Hyönä, K. Bingushi and R. Bertram: "The role of interword spacing in reading Japanese: An eye movement study", Vision Research, 47, 20, pp. 2575-84 (2007)
- 11) G. W. McConkie and K. Rayner: "The span of the effective stimulus during a fixation in reading", Perception and Psychophysics, 17, 6, pp. 578-586 (1975)
- 12) A. Pollatsek and K. Rayner: "Eye movement control in reading: The role of word boundaries", Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 8, 6, pp. 817-833 (1982)
- 13) R. K. Morris, K. Rayner and A. Pollatsek: "Eye movement guidance in reading: The role of parafoveal letter and space information", Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 16, 2, pp. 268-81 (1990)
- 14) K. Rayner, M. H. Fischer and A. Pollatsek: "Unspaced text interferes with both word identification and eye movement control", Vision Research, 38, 8, pp. 1129-1144 (1998)
- 15) 御領: "付録", 読むということ, 東京大学出版会, pp. 155-174 (1987)
- 16) 松田: "日本語文の読みと及ぼす文節間空白の影響", 基礎心理学研究, 19, 2, pp. 83-92 (2001)
- 17) 藤木: "日本語文の読みにおける分節単位の検討", 広島大学心理学研究, 2, pp. 21-27 (2002)
- 18) 小林, 関口, 新堀, 川嶋: "文節間改行レイアウトを有する日本語リーダーの読み効率評価", 人工知能学会論文誌, 30, 2, pp. 479-484 (2015)
- 19) 小林, 関口, 新堀, 川嶋: "文節単位を考慮した文字配置の工夫がもたらす日本語電子リーダーの可読性向上", 人工知能学会論文誌, 32, 2, pp. A-AI30.1-24 (2017)
- 20) 小林, 関口, 新堀, 川嶋: "文節単位の階段状ベースラインを有する日本語リーダーの可読性", 信学論, J99-D, 1, pp. 13-22 (2016)
- 21) J. Kobayashi, T. Sekiguchi, E. Shinbori and T. Kawashima: "Stepped-line text layout with phrased segmentation for readability improvement of Japanese electronic text", Proceedings of the 2015 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM 2015), pp. 553-558 (2015)
- 22) J. Kobayashi, E. Shinbori and T. Kawashima: "Development of Japanese electronic text readers based on perceptual mechanisms of reading", Proceedings of the 23rd International Display Workshops (IDW 2016), Vol. 23, pp. 27-30 (2016)
- 23) 小林, 関口, 新堀, 川嶋: "日本語リーダーにおける読み速度と眼球運動の行長依存性に基づく最適行長の検討", 信学論, J99-D, 1, pp. 23-34 (2016)

こばやし じゅんぺい
小林 潤平 2006年、東北大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年、大日本印刷株式会社入社、現在に至る。読みのインタフェースや認知処理に関する研究に従事。2016年、公立はこだて未来大学システム情報科学研究科博士後期課程修了。2017年より同大学共同研究員兼任。博士（システム情報科学）。

しんぼり えいじ
新堀 英二 1987年、早稲田大学理工学部理工学研究科物理学及び応用物理学専攻博士前期課程修了。同年、大日本印刷株式会社入社、現在に至る。画像処理、セキュリティ、知識情報処理、ソーシャルメディア、視覚情報処理に関する研究開発に従事。

かわしま としお
川嶋 稔夫 1982年、北海道大学大学院工学研究科修士課程修了。同年、苫小牧工業高等専門学校助手。1984年、北海道大学工学部助手。1990年、同講師。1992年、同助教授。2000年、公立はこだて未来大学教授、現在に至る。情報メディアに関する研究に従事。工学博士。