

文節単位の視点移動を促す日本語リーダーの読書アシスト効果

Effect of *Bunsetsu*-based Layouts on Japanese Electronic Text Reading

小林 潤平*1*2

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 *bunsetsu*-based layouts to improve the efficiency of eye movements in reading Japanese text. While the reader's eyes tend to fixate on every segment in Japanese text, previous techniques like inserting space between *bunsetsu* segments cannot assist such eye movements. In this study, we developed new *bunsetsu* segmentation techniques for providing effective eye movement cues and embedded them on text layouts; the adjustment of line breaking, the shift of font-baseline, the vibration of characters, and the step-like indentation. In the evaluations, reading speeds for the new *bunsetsu*-based layouts are faster compared to a conventional layout. The results indicate that the new *bunsetsu* segmentation techniques enhance the efficiency of reading Japanese text.

1. はじめに

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読書アシスト機能によって文章を読む効率を高めることができれば、その効果の大きさは計り知れない。

読み効率を高め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を考慮することが重要である。人間の視野は、解像度の高い中心視野と、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。文字の認識には高い解像度を必要とするため、人間は中心視野を移動させながら文章を読み進めていく。中心視野にて文字を認識している注視状態は停留、次の停留点への移動運動はサッカードと呼ばれ、読書中は停留とサッカードが繰り返される [Rayner 89, 苧阪 93, 斎田 93, 神部 98, 苧阪 98]。

停留中には、中心視で文字認識すると同時に周辺視で次の停留場所の選定を行う。単語単体の認知に最も適した停留場所は最適停留位置と呼ばれ、様々な言語において単語の中心付近であることが報告されている [O'Regan 84, McConkie 89, Vitu 95, 梶井 98]。もし、最適停留位置からずれた場所に停留すると、停留時間の増加や同一単語内で再停留が発生しやすくなるため、読み効率の向上には最適停留位置への的確な視点移動が欠かせない。

視点移動にあたって重要となるのが、単語間の境界情報である。英語のような単語間にスペースを挿入する言語では、スペースによる境界情報が視点移動に対して重要な役割を担っているとされ [Pollatsek 82, Rayner 96]、もしスペースを除いた場合には、停留位置が単語の先頭方向へずれて、読み速度は約50%低下する結果が報告されている [Rayner 98]。

日本語文章においても、停留場所はランダムではなく、文の意味的なまとまりに対応している傾向が報告されている [神部 98]。そこで、意味的なまとまりの境界を明確化すべく、意味的なまとまりの最小単位である文節間にスペースを挿入した場合の読み効率が検証されたが、仮名漢字混合文では読み速度は変化しないか [松田 01]、むしろ低下する結果となった [Sainio 07]。その結果、仮名漢字混合文の場合は漢字が視点移動の手がかりとして機能しており、スペース挿入は冗長と結論付けられた

[Sainio 07]。このように、日本語の一般的な仮名漢字混合文においてはスペースの挿入が境界情報として機能せず、意味的なまとまり単位の視点移動を促す仕組みが見出されていないという課題があった。

近年、改行に関しては、分節単位を考慮した方が読みやすくなるとの結果が報告されている [村田 09]。したがって、スペース挿入にかわる何らかの手法によって意味的なまとまりを明確化し、それら単位で的確に停留しながら読み進めることができれば、より効率よく、より速く読める可能性がある。

本研究では、筆者らが現在までに考案した意味的なまとまりの最小単位である文節を明確化する仕組みについて俯瞰し、文節単位の文字配置の工夫がもたらす読書アシスト効果について検証する。

2. 提案レイアウト

文節単位の視点移動を促す日本語リーダーの読書アシスト効果を検証するために、刺激文章の原本紙面をスキャンし iPad 上に表示した 1 行 38 文字の縦書きページ型レイアウト「(0) 底本 (縦書き)」を基準に、以下の 5 種類のレイアウトにおける読み速度の変化を分析した。文節は形態素解析の結果をもとに抽出し、形態素解析には Sen*1 および IPADIC*2 を用いた。

(1) 固定長改行 図 1 は、一般的な日本語組版の「固定長改行レイアウト」である [小林 16a]。1 行あたり所定の文字数毎に改行し、改行時の禁則処理は句読点と括弧のみを対象とした。文節を考慮した仕組みは含まない。

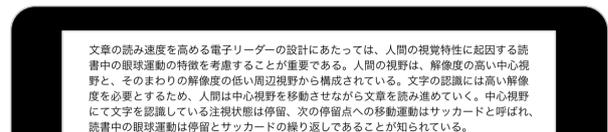


図 1: 固定長改行レイアウト [小林 16a]

(2) 文節間改行 図 2 は、文章を構成する文節を改行で分断しないように調整した「文節間改行レイアウト」である

連絡先: 小林 潤平, kobayashi-j3@mail.dnp.co.jp,

大日本印刷株式会社, 東京都新宿区市谷加賀町 1-1-1

*1 sen-1.2.2.1, <https://java.net/projects/sen>

*2 ipadic-2.7.0, <http://sourceforge.jp/projects/ipadic/>

[小林 15b]。1 文節の長さが 1 行の基準文字数を超えていた場合は、当該文節を分断することなく、そのまま 1 行として採用した。

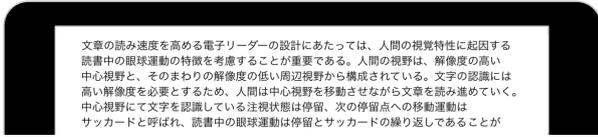


図 2: 文節間改行レイアウト [小林 15b]

(3) 単文節行+階段インデント 図 3 は、1 行を 1 文節で構成することで文節単位の読みを促すとともに、階段状のインデントによってスクロール移動する文字の認識や視点移動を容易にする効果を狙った「階段インデント型単文節行レイアウト」である [小林 15a]。1 行が 1 文節となる位置で改行するとともに、行頭が傾斜をもつように各行のインデント量を増やしていき、次の段落の最初の文節で画面左端に戻すように設計した。行頭の傾斜角は、スクロール移動中も幾何学的な特徴が認識しやすいように 45 deg を選択した。また、段落途中の文において、もし文節を配置した場合に、文節の右端が画面右端から左に 1 文字分の位置にある基準線を越える場合には、画面左端ではなく当該行のインデント量を 8 行目と同じ値まで戻し、再び当該行を始点に行頭傾斜が 45 deg となるように各行のインデント量を増やすこととした。8 行目のインデント量は、段落先頭と区別が付き、かつ段落内で頻繁に折り返しが発生しないように画面右端まで一定の距離をもつ値として選択された。



図 3: 階段インデント型単文節行レイアウト [小林 15a]

(4) 文節間改行+微振動 図 4 は、隣り合う文節を異なるタイミングで微振動させた「文節単位の微振動表記」である [小林 15c]。振動によって発生する文節間の疎密が動的な境界情報を形成し、文節単位の視点移動を促す効果を狙った。文章の先頭から順に、文節を 4 グループに分けて、250 ms ずつタイミングをずらして振動させる。250 ms の値は、先行研究にて報告されている停留時間とサッカー時間平均合計時間 (1 行の基準文字数 5 ~ 40 において 240 ~ 257 ms の範囲 [小林 16a]) と概ね一致するよう選択した。振幅は文字幅の

3 % 分であり、素早く右に動かして、ゆっくり左に戻す。3 % の値は、隣り合う文節が最接近した際にも文字が重ならないように配慮したものである。振動周期は 1000 ms であり、1000 ms 内に 2 回振動させる。また、画面全体が一様に揺れて見えるのを抑制するために、1 回目と 2 回目の振動パターンをわずかに変化させる。1 回目は 30 ms で右に動かし、370 ms かけて元の位置に戻し、100 ms 静止させる。2 回目は 40 ms で右に動かし、360 ms かけて元の位置に戻し、100 ms 静止させる。振動は実験終了まで継続し、スクロール操作中を含めて、途中で停止することはない。

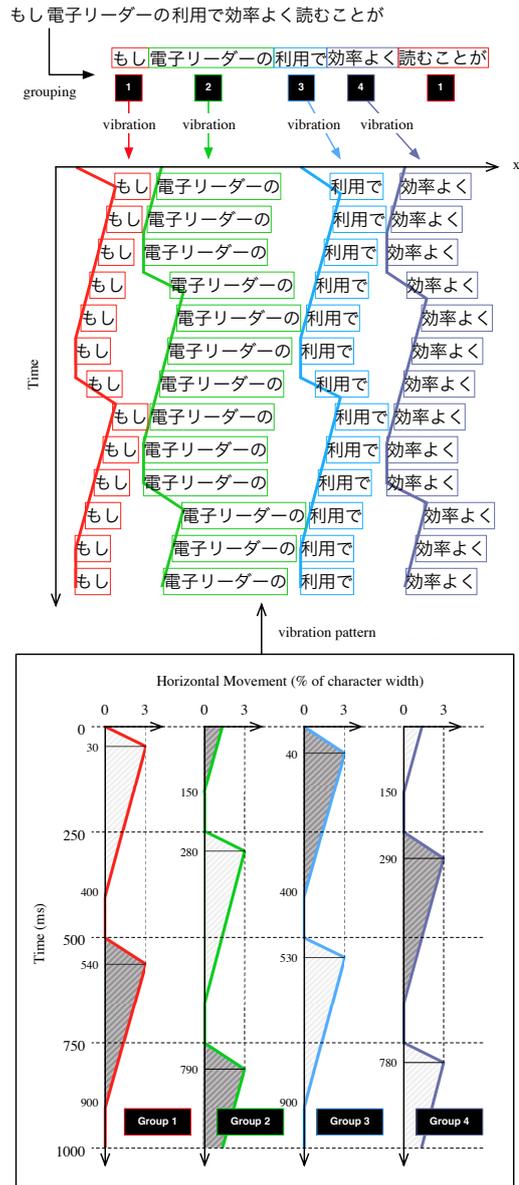


図 4: 文節単位の微振動表記 [小林 15c]

(5) 文節間改行+階段状ベースライン 図 5 は、隣り合う文節を上下にずらすことで視覚的な境界情報を付与し、文節単位の視認性を高める効果を狙った「階段状ベースラインレイアウト」である [小林 16b]。既存レイアウトでは一直線である文字ベースラインを、本レイアウトでは図 5 に示すように文節単位で段階的に下げながら描画する。一段の下げ幅は、予備実験で最も効果的であった文字高の 7.5 % 分を採用した。

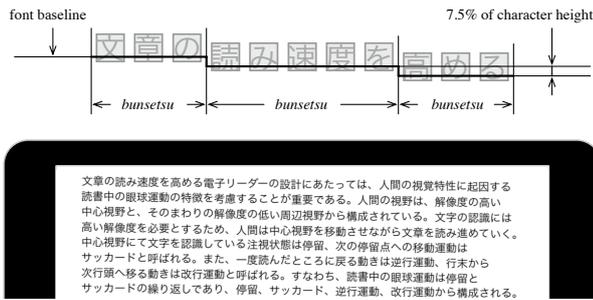


図 5: 階段状ベースラインレイアウト [小林 16b]

3. 実験

被験者 本実験条件に関する予備知識や被験経験のない大学生 53 名が、被験者として参加した。

刺激 電子リーダーは横書きの縦スクロール型を採用し、画面サイズ対角 9.7 inch、画面解像度 264 ppi の Apple 社製タブレット型端末「iPad」上で動作させた。

刺激文章は、1 話の文字数が 2000 字程度の星新一氏のショートショート作品 34 話を用いた。フォントは「ヒラギノ角ゴシック ProW3」を使用し、文字サイズは 4.4 mm、行間は 1.6 mm、文字色は黒、背景色は白とした。

手続き 被験者 53 名について、レイアウトの種類 (5 種類)、1 行の基準文字数 (5, 11, 20, 29, 40 の 5 段階)、および刺激文章 (34 話) を変更しながら、眼球運動と読み速度を計測した。被験者あたり 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み合わせが被験者間で重複しないようにあらかじめ調整した。被験者には、スクロール操作しながら黙読するとともに、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することもあわせて教示した。質問自体は文章の内容について問う簡単なものである。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、刺激文章を変更して再計測した。

視線検出と分析 被験者の目の動きは、nac 社製の視線検出装置 EMR-9 を用いて 1/60 s 間隔で計測した。

4. 結果と考察

図 6 は、各提案レイアウトにおける読み速度の変化を示したものである^{*3}。縦軸は読み速度の増分、横軸は 1 行あたりの平均文字数、誤差範囲は標準誤差である。この図をもとに、先行研究を俯瞰しながら読書アシスト効果を検証していく。

まず、最も基本的なレイアウトが横書き縦スクロール型レイアウト「固定長改行 (1)」である。「固定長改行 (1)」において、読み速度は行長の伸長とともに増加するが、20 文字/行付近で飽和することがわかった。この変化は、行長が短くなるほど順行サッカード長も短くなるために、1 行 20 文字に満たない短い行長では短い順行サッカード長によって停留数が増えて読み速度の低下をまねく一方で、1 行 20 文字以上では順行サッカード長は長くなるが逆行による過剰な停留が増えるために読みが遅くなることに起因する [小林 16a]。なお、縦書きページ型レイアウト「底本 (0)」と比較すると、1 行 20 ~ 40 文字の

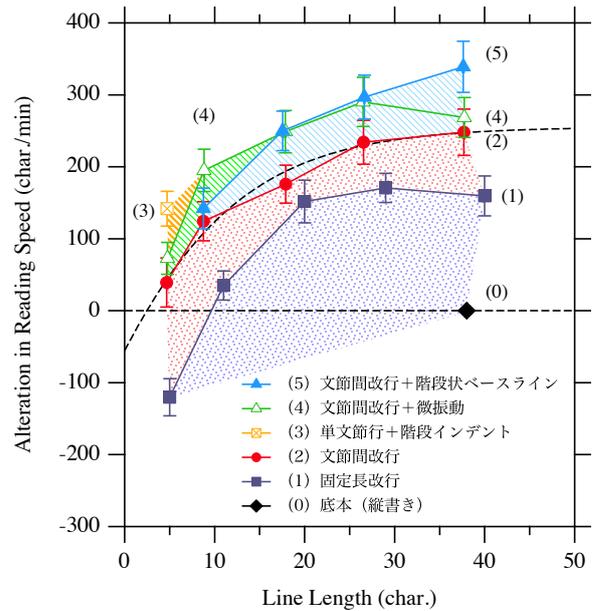


図 6: 各レイアウトにおける、読み速度の変化と 1 行あたりの平均文字数の関係。誤差範囲は標準誤差。

範囲ならば、「固定長改行 (1)」の方が 100 文字以上も速く読めることになる。

ここで、改行位置を文節間になるよう調整したレイアウト「文節間改行 (2)」を採用すると、全行長にわたって「固定長改行 (1)」よりも速く読めることがわかった。文節間で改行すると、行末から行頭への視点移動時に失敗することなく 1 回のサッカードで完了する確率が増しており [小林 15b]、改行によって文節を分断しないように工夫したレイアウトが、行末および行頭付近におけるスムーズな視点移動をアシストしているとも言える。この改行時の視点移動をアシストする文節間改行レイアウトに対して、さらに行内の視点移動アシストを狙ったレイアウトが「文節間改行+階段状ベースライン (5)」と「文節間改行+微振動 (4)」である。

まず、「文節間改行+階段状ベースライン (5)」は本研究で見出された最も速く読めるレイアウトであり、既存レイアウト「(0) 底本 (縦書き)」よりも 1 分間に 340 文字多く読むことが可能である。「(0) 底本 (縦書き)」の平均読み速度 728 文字/分を考慮すると、文節間改行と階段状ベースラインの組み合わせは 1068 文字/分の読み速度を実現しており、読み速度を約 1.47 倍に引き上げる効果をもつ。「文節間改行+階段状ベースライン (5)」では順行サッカード長の伸長と逆行の減少が観察されており、隣り合う文節が上下にずれて配置されるレイアウト上の視覚的特徴が、次の停留先を選定する視覚処理系に正の影響を与えている可能性が推察されている [小林 16b]。

しかし、階段状ベースラインの効果は万能ではなく、1 行の文字数が 10 文字程度の短い行長では「(4) 文節間改行+微振動」が最も速く読めるレイアウトとなった。短い行長では平均順行サッカード長が文節長よりも短くなる、すなわち順行サッカードが短くて 1 文節内で何度も停留する傾向が強くなるため [小林 16a]、長い行長の場合よりも強く分節単位を認知させる仕組みが必要であった。動的な文節間の境界情報によって分節単位を認知させる「(4) 文節間改行+微振動」は、1 行の文字数が 10 文字程度の短い行長においても分節単位の視点移動を促す効果を有しており、短い行長では「文節間改行+階段状ベースライン (5)」よりも有利であることがわかった。

*3 本研究では、提案レイアウト (3)(4)(5) の効果検証時の基準をレイアウト (2) としていたため、レイアウト (0) を測定していない。そこで、レイアウト (3)(4)(5) のプロットにあたっては、レイアウト (0)(1)(2) の効果検証時に得たレイアウト (2) のカーブフィッティング値を基準とした。

最後に、最も短い行長で最も速く読めるレイアウトが「単文節行+階段インデント(3)」である。1行あたり約5文字という短い行長では、「固定長改行(1)」のみならず「文節間改行(2)」や「文節間改行+微振動(4)」においても読み速度の向上は限定的であり、長い行長の読み速度には及ばなかった。しかし、「単文節行+階段インデント(3)」では、1行20~40文字という長い行長の「固定長改行(1)」と同等の速い読み速度を実現していることがわかる。「単文節行+階段インデント(3)」の読み速度の向上は、文字レイアウトとスクロール操作によって目の動きの一部を代替することで実現しており、あたかも長い一行を短いサッカードで次々と読んでいるような目の動きが特徴である[小林15a]。さらなる調査が必要であるが、この目の動き特徴は、短行の方が読みやすいと報告されているディスレクシア読者[Schneps13]や、視力低下に応じた文字の拡大によって視野内の文字数が減少するロービジョン読者[Legge07]の読みに対してアシスト効果をもつ可能性が推察されている。

5. おわりに

本研究では、分節単位の文字配置の工夫がもたらす読書アシスト効果について検証した。文節間改行をはじめ、分節単位で階段状ベースラインの付与、微振動の付与、階段インデントの付与という分節単位を考慮した文字配置の工夫によって読み効率を向上できることがわかった。ただし、読み効率の向上が発現する行長は工夫毎に異なっており、1行が5文字程度の短行で電子リーダー上に表示する場合には「単文節行+階段インデント」、1行が10文字程度の行長で表示する場合には「分節間改行+微振動」、1行が20文字以上で表示できる場合は「文節間改行+階段状ベースライン」が効果的であることがわかった。

謝辞

公立はこだで未来大学 松原 仁 教授に機材の便宜をお図り頂くとともに、公立はこだで未来大学学生の方々に被験者として多大なご協力をいただいた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- [Legge 07] Legge, G. E.: *Psychophysics of reading in normal and low vision*, Lawrence Erlbaum Associates Publishers (2007)
- [McConkie 89] McConkie, G. W., Kerr, P. W., Reddix, M. D., Zola, D., and Jacobs, A. M.: Eye movement control during reading: II. Frequency of refixating a word, *Perception and Psychophysics*, Vol. 46, No. 3, pp. 245–253 (1989)
- [O'Regan 84] O'Regan, J. K., Lévy-Schoen, A., Pynte, J., and Brugailière, B.: Convenient fixation location within isolated words of different length and structure, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 10, No. 2, pp. 250–257 (1984)
- [Pollatsek 82] Pollatsek, A. and Rayner, K.: Eye movement control in reading: The role of word boundaries, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 8, No. 6, pp. 817–833 (1982)
- [Rayner 89] Rayner, K. and Pollatsek, A.: *The psychology of reading*, Lawrence Erlbaum Associates (1989)
- [Rayner 96] Rayner, K. and Pollatsek, A.: Reading unspaced text is not easy: Comments on the implications of Epelboim et al.'s (1994) study for models of eye movement control in reading, *Vision Research*, Vol. 36, No. 3, pp. 461–465 (1996)
- [Rayner 98] Rayner, K., Fischer, M. H., and Pollatsek, A.: Unspaced text interferes with both word identification and eye movement control, *Vision Research*, Vol. 38, No. 8, pp. 1129–1144 (1998)
- [Sainio 07] Sainio, M., Hyönä, J., Bingushi, K., and Bertram, R.: The role of interword spacing in reading Japanese: an eye movement study, *Vision research*, Vol. 47, No. 20, pp. 2575–84 (2007)
- [Schneps 13] Schneps, M. H., Thomson, J. M., Chen, C., Sonnert, G., and Pomplun, M.: E-readers are more effective than paper for some with dyslexia, *PLoS one*, Vol. 8, No. 9, p. e75634 (2013)
- [Vitu 95] Vitu, F., O'Regan, J. K., Inhoff, A. W., and Topolski, R.: Mindless reading: Eye-movement characteristics are similar in scanning letter strings and reading texts, *Perception and Psychophysics*, Vol. 57, No. 3, pp. 352–364 (1995)
- [梶井 98] 梶井 夏実, 苧阪 直行: 日本語の読みにおける最適停留位置効果, 読み: 脳と心の情報処理, 第3章, pp. 42–56, 朝倉書店 (1998)
- [斎田 93] 斎田 真也: 読みと眼球運動, 眼球運動の実験心理学, 第8章, pp. 167–198, 名古屋大学出版会 (1993)
- [小林 15a] 小林 潤平, 関口 隆, 新堀 英二, 川嶋 稔夫: 単文節行と階段状インデントを有する電子リーダーの読書アシスト効果, 情報処理学会研究報告. DC, ドキュメントコミュニケーション, Vol. 2015-DC-98, No. 8, pp. 1–8 (2015)
- [小林 15b] 小林 潤平, 関口 隆, 新堀 英二, 川嶋 稔夫: 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, Vol. 30, No. 2, pp. 479–484 (2015)
- [小林 15c] 小林 潤平, 関口 隆, 新堀 英二, 川嶋 稔夫: 文節単位で微振動させた日本語電子リーダーの可読性, 人工知能学会全国大会論文集, pp. 4N1–2in (2015)
- [小林 16a] 小林 潤平, 関口 隆, 新堀 英二, 川嶋 稔夫: 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, 電子情報通信学会論文誌. D, Vol. J99-D, No. 1, pp. 23–34 (2016)
- [小林 16b] 小林 潤平, 関口 隆, 新堀 英二, 川嶋 稔夫: 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, 電子情報通信学会論文誌. D, Vol. J99-D, No. 1, pp. 13–22 (2016)
- [松田 01] 松田 真幸: 日本語文の読みに及ぼす文節間空白の影響, 基礎心理学研究, Vol. 19, No. 2, pp. 83–92 (2001)
- [神部 98] 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, 第1章, pp. 1–16, 朝倉書店 (1998)
- [村田 09] 村田 匡輝, 大野 誠寛, 松原 茂樹: 読みやすい字幕生成のための講演テキストへの改行挿入, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム, Vol. 92, No. 9, pp. 1621–1631 (2009)
- [苧阪 93] 苧阪 良二, 中溝 幸夫, 古賀 一男 (編): 眼球運動の実験心理学, 名古屋大学出版会 (1993)
- [苧阪 98] 苧阪 直行 (編): 読み: 脳と心の情報処理, 朝倉書店 (1998)