

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

Readability of Japanese Electronic Text with Phrase-based Line Breaking

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公立はこだて未来大学

Future University-Hakodate

We propose a new Japanese electronic format with phrase-based line breaking for tablet computer to improve reading speed. It has been reported that optimal viewing position (OVP) phenomenon is observed in Japanese text, and OVPs correspond to positions of Japanese phrases. The new format prohibits splitting of a phrase and breaks a line between phrases isolated by morphological analysis. We measured reading speeds and eye movements using the new format and a conventional format. Reading speeds were consistently faster for the new formats compared to the conventional formats at all line lengths tested. The enhancement of reading speed in the new format seems to be related to optimizations of eye movements in a head of a line, and substitutions of vertical scrolling of a single line for a single horizontal saccade.

1. はじめに

人間の視野は、解像度の高いおよそ直径 5 deg の中心視野と、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。文字の認識には中心視野の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。文字を認識している間の注視状態を停留、次の停留点への移動運動をサッカードと呼び、読書中の眼球運動は停留とサッカードの繰り返しであることが知られている。

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。英語やフランス語の読みにおいては、単語内のどの場所で停留するかが単語認知の時間に影響を及ぼすことが報告されており、認知時間が最も小さくなる停留場所は最適停留位置と呼ばれる [O'Regan 84]。わかち書きされない日本語文章は、単語間に空白が存在しない点で英語やフランス語とは大きく異なるが、日本語文章においても文の意味的なまとまりに対応した場所で停留する傾向が報告されている [神部 98]。また、文章ではなく平仮名表記の単語においては、英語やフランス語と同様の最適停留位置効果が報告されている [Kajii 00]。すなわち、わかち書きされない日本語文章においても、文章上の最適停留位置に停留しながら読み進めることができれば、より効率良く、より速く読める可能性がある。

現在の日本語電子リーダーには改行を含むレイアウトが多く採用されているが、その改行位置は、日本語組版の禁則処理をもとに、固定値やディスプレイ幅によって決定されることが多い。その結果、改行によって意味的なまとまりをもった文字列が分断され、最適な停留場所の消失、すなわち 1 回の停留中で 1 度に認識すべき文字のかたまりが分断され、読み効率の低下を招いている可能性がある。電子リーダーは改行位置を自由に変更可能な特長をもつため、文構造と表示領域に基づいて改行位置を調節することで、意味的なまとまりを分断しないレイアウトを生成することが可能である。

そこで本研究の目的として、意味的なまとまりのひとつである文節を改行で分断しないようにレイアウトする日本語電子リーダーを開発し、その効果を検証することとした。

2. 実験

2.1 日本語リーダー

日本語電子リーダーはスクロール型を採用し、Apple 社製タブレット型端末 iPad (画面サイズ対角 9.7 inch, 画面解像度 264 ppi) 上で動作させた。左右方向へのスクロール操作、ピンチ操作による拡大縮小、テキスト選択操作は無効とした。

刺激文章は、星新一氏のショートショート作品のなかから 1 作品の文字数が 2000 字程度の 30 作品を用いた。文字は全ての実験条件で「ヒラギノ角ゴシック ProW3」フォントを使用し、文字サイズは 4.4 mm, 文字色は黒、背景色は白とした。

レイアウトは、図 1 に示す (a) 固定長改行レイアウト、および本研究で開発された (b) 文節間改行レイアウトの 2 種類を準備した。両レイアウトともに、行間は 1.2 mm, 1 行あたりの基準文字数は全角 5, 11, 20, 29, 40 文字とした。(a) 固定長改行レイアウトは、全角文字を文字間隔 0 で並べて基準文字数毎に改行するベタ組みレイアウトを採用し、句読点および括弧のみを禁則処理の対象とした。(b) 文節間改行レイアウトは、文字を間隔 0 で並べる点では固定長改行レイアウトと同一であるが、文節を分断しない位置で改行するために、刺激文章に対して形態素解析を実施し、1 行の基準文字数で改行したときに文節のまとまりが分断される場合は、直前の文節間で改行するようプログラムした。形態素解析には Sen および IPA 辞書 (ipadic-2.7.0) を用いた。なお、星新一氏の作品でよく用いられる平仮名表記や特有の語句については、形態素解析後にプログラム上で分割および連結処理を行い、文節として正し

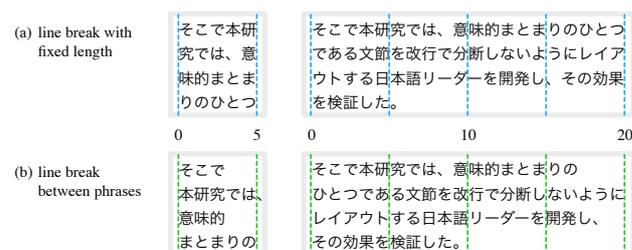


図 1: 日本語電子リーダーの表示例 (a) 固定長改行レイアウト (b) 文節間改行レイアウト

く認識されるよう調整した。文節間改行レイアウトの1行あたりの平均文字数は、1行の基準文字数5, 11, 20, 29, 40に対し、それぞれ4.4, 8.1, 16.5, 25.9, 36.0文字であった。

2.2 手続き

実験には27名の大学生が参加し、文章レイアウト（固定長改行、文節間改行）、1行の基準文字数（全角5, 11, 20, 29, 40文字）、刺激文章を変更しながら行った。1作品1回のみ閲覧に制限するとともに、同じ文章が別の被験者でも同一条件で読まれることがないように、読む文章と読む順番、実験条件は被験者間であらかじめ調整した。被験者は、白色蛍光灯が点灯された部屋にて着席し、机上に固定されたiPadに対して被験者自身が最も読みやすいと感じる距離にて、被験者自身がスクロール操作しながら黙読するよう教示した。

2.3 解析

視線移動はnac社製視線検出装置EMR-9にて1/60s間隔で計測し、全ての条件で睫毛や眼鏡等の影響なく安定して視線測定が可能であった14名のデータに対して、以下の解析を行った。得られた視点軌跡データはnac社製解析ソフトウェアEMR-dFactoryにてノイズ除去を実施後、停留座標とサッカード長を算出した。停留点の算出条件は、スクロール移動する文字への追従運動をサッカードではなく停留として識別するために、停留開始判定を直前2回の視点移動速度(deg/s)合計の絶対値が30未満(サッカード運動の速度は100~500 deg/sの範囲[荻原 93]、停留と追従運動の速度しきい値は5~10 deg/s[山田 93])、停留時間を33ms以上(停留時間は100~400msの範囲[神部 98])、追従および停留の最大移動距離を1deg、サッカード遷移直前の視点位置を停留座標として採用、とした。

3. 結果

まず、文節間改行および固定長改行レイアウトにおける、読み速度の変化を調査した。図2は、文節間改行および固定長改行レイアウトにおける1行あたりの文字数と、平均読み速度の関係を示したものである。横軸は1行あたりの文字数、縦軸は読み速度、誤差範囲は標準誤差である。

平均読み速度は、固定長改行レイアウトよりも文節間改行レイアウトの方が、大きくなる傾向が認められた。例えば、1行あたりの基準文字数5の場合、文節間改行レイアウトでは平均787文字/分と従来の固定長改行レイアウトの610文字/分よりも約29%、基準文字数40の場合には、文節間改行レイアウトでは平均1030文字/分と従来の固定長改行レイアウトの941文字/分よりも約9.4%、それぞれ平均読み速度が増加した。1行あたりの基準文字数が5および40における両レイアウトの平均読み速度について、それぞれt検定を行ったところ、基準文字数5で $t(13) = 4.6, p < 0.01$ 、基準文字数40で $t(13) = 2.5, p < 0.05$ と、その差は有意であった。また、両レイアウトともに、1行あたりの文字数の増加に伴って、平均読み速度は増加する傾向が認められた。

読み速度の向上には、少ない停留回数と短い停留時間が重要と予想される。文節間改行レイアウトにおける読み速度向上の原因を探るために、両レイアウトの読みにおける、停留回数と停留時間の変化を調査した。図3は、文節間改行および固定長改行レイアウトにおける1行あたりの文字数と、停留回数および停留時間の関係を示したものである。横軸は1行あたりの文字数、左軸は刺激文章1000文字あたりの停留回数、右軸は1停留あたりの持続時間、誤差範囲は標準誤差である。

まず停留回数において、文節間改行レイアウトの方が、固定長改行レイアウトよりも、小さくなる傾向が認められた。1行

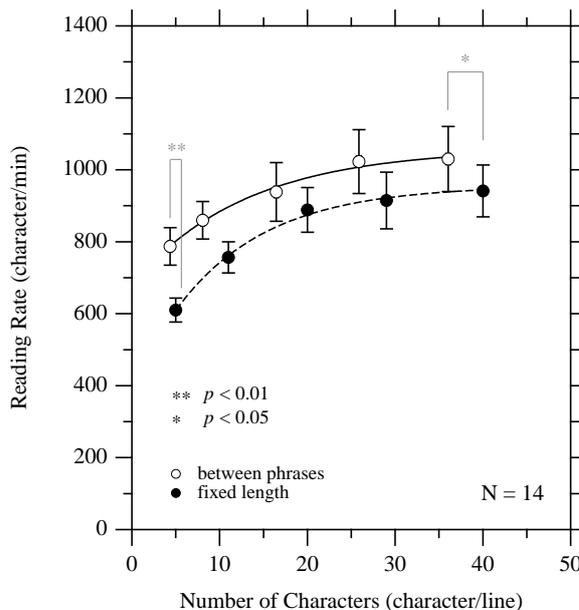


図2: 文節間改行および固定長改行レイアウトにおける、1行あたりの文字数と平均読み速度の関係（誤差範囲は標準誤差）

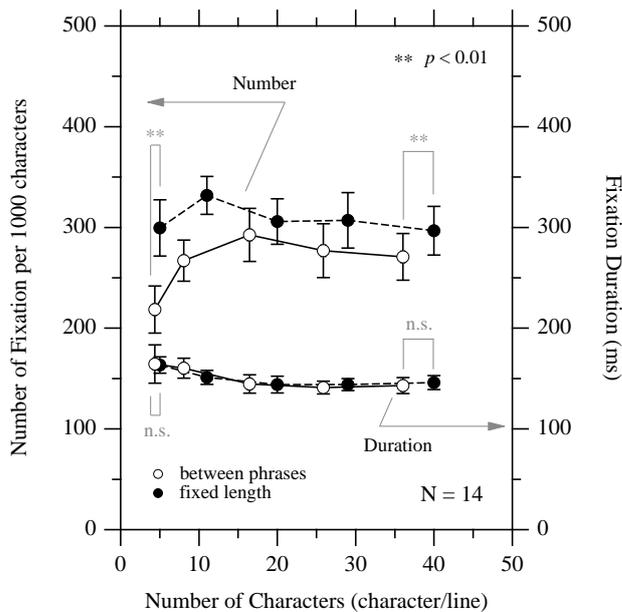


図3: 文節間改行および固定長改行レイアウトにおける、1行あたりの文字数と、1000文字あたりの停留回数および停留時間の関係（誤差範囲は標準誤差）

あたりの基準文字数が5および40における両レイアウトの停留回数について、それぞれt検定を行ったところ、基準文字数5で $t(13) = 5.6, p < 0.01$ 、基準文字数40で $t(13) = 3.8, p < 0.01$ と、その差は有意であった。

一方、停留時間においては、レイアウト間の差は小さかった。両レイアウトともに、1行あたりの文字数の増加に伴って停留時間は減少したが、1行あたりの基準文字数が5および40における両レイアウトの停留時間についてそれぞれt検定を行ったところ、基準文字数5で $t(13) = 0.063, p > 0.1$ 、基準文字数40で $t(13) = 0.54, p > 0.1$ と、有意差は認められなかった。

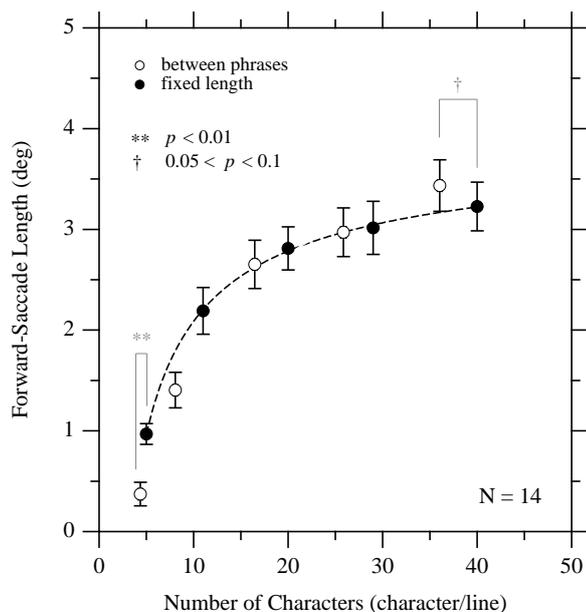


図 4: 文節間改行および固定長改行レイアウトにおける、1 行あたりの文字数と平均順行サカド長の関係 (誤差範囲は標準誤差)

したがって、文節間改行レイアウトと固定長改行レイアウトの停留を比較すると、停留持続時間に差異は認められないものの、停留回数に関しては、文節間改行レイアウトの方が少ないことがわかった。

次に、停留回数が減少した原因を検討するために、停留間隔の増減と、過剰停留の増減について調査した。

始めに過剰停留について定義する。読書中の眼球運動は停留とサカドの繰り返しであるが、それら運動のなかで特に、一度通り過ぎた場所に戻るサカドは「逆行」、行末から次行頭へのサカドは「行変え運動」と呼ばれる。なめらかな読みでは、逆行の発生回数は 0、行変え運動も 1 回のサカ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「行変え運動時に、行頭に 1 回のサカドで到達できず、追加で発生した停留」を過剰停留と定義する。理想的な読みでは、過剰停留数は 0 となる。

まず、停留間隔を調査するために、過剰停留を含まない行、すなわち逆行が発生しなかった行の視点移動軌跡のみを抽出し、その行で発生した全ての停留点の平均間隔を算出した。この値を平均順行サカド長と呼ぶ。図 4 は、文節間改行および固定長改行レイアウトにおける、1 行あたりの文字数と平均順行サカド長の関係を示したものである。横軸は 1 行あたりの文字数、縦軸は順行サカド長、誤差範囲は標準誤差である。両レイアウトともに、1 行あたりの文字数の増加に伴って、平均順行サカド長は増加した。ただし、文節間改行レイアウトにおいて、1 行あたりの基準文字数が 5 (平均 4.4 文字) および 11 (平均 8.1 文字) の場合には、固定長改行レイアウトよりも平均順行サカド長が小さくなる傾向が認められた。基準文字数 5 における t 検定では、 $t(13) = 4.7, p < 0.01$ と、その差は有意であった。一方、1 行あたりの基準文字数が 40 (平均 36 文字) の場合には、固定長改行レイアウトよりも平均順行サカド長が大きくなったが、基準文字数 40 で $t(13) = 1.88, p = 0.083$ と、5%水準で有意傾向に留まった。

したがって、文節間改行レイアウトにおける順行サカド長は、1 行あたりの文字数が少ないときに、固定長改行レイ

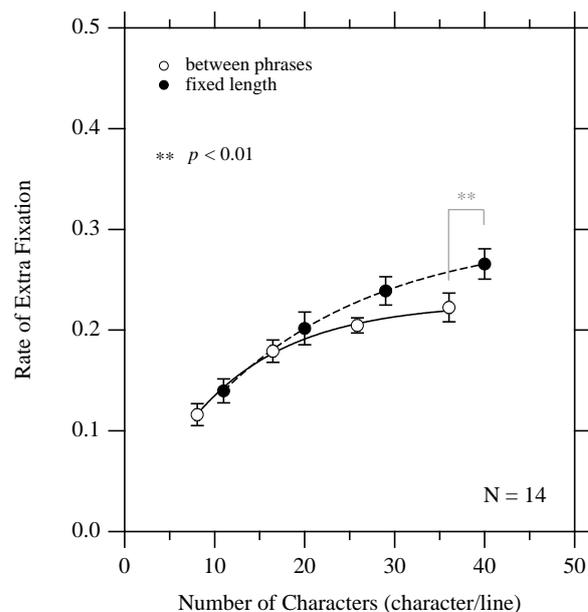


図 5: 文節間改行および固定長改行レイアウトにおける、1 行あたりの文字数と全停留に対する過剰停留率の関係 (誤差範囲は標準誤差)

アウトにおける値よりも短くなることがわかった。

次に、停留間隔と同じく停留回数に影響を及ぼすと予想される、過剰停留について調査した。図 5 は、文節間改行および固定長改行レイアウトにおける 1 行あたりの文字数と過剰停留の関係を示したものである。横軸は 1 行あたりの文字数、縦軸は全停留に対する過剰停留率、誤差範囲は標準誤差である。両レイアウトともに過剰停留率は、1 行あたりの文字数の増加に伴って増加した。しかし、その増加率は文節間改行レイアウトの方が固定長改行レイアウトよりも小さく、基準文字数 40 で $t(13) = 3.3, p < 0.01$ と、その差は有意であった。

したがって、文節間改行レイアウトにおける過剰停留数を、固定長改行レイアウトのものと比較すると、1 行あたりの文字数が少ないときに違いは認められないが、1 行あたりの文字数が多いときに少なくなる傾向にあることがわかった。

4. 考察

文節間改行レイアウトの平均読み速度が、従来の固定長改行レイアウトの値よりも大きくなった原因について考察する。

図 3 より、文節間改行レイアウトは従来の固定長改行レイアウトよりも、少ない停留回数で読み進めていることがわかる。一方、平均停留時間はレイアウト間で違いが認められなかった。本研究における平均停留時間はおよそ 150~160 ms の範囲であり、先行研究にて報告されている値 (停留時間は 100~400 ms の範囲、ピークは 150~250 ms [神部 98]) と概ね等しい。したがって、文節間改行レイアウトにおける読みの特徴は、停留時間は変化しないが、少ない停留回数で読み進められることと推察される。

停留回数の減少につながる両レイアウト共通の要素は、停留間隔の拡大すなわちサカド長の伸長と、文章を読み進める上で過剰な停留数の減少が挙げられる。しかし、順行サカド長の変化を示した図 4 と過剰な停留率の変化を示した図 5 より、サカド長の伸長と過剰停留数の減少はトレードオフの関係にあることがわかる。すなわち、1 行あたりの文字数が

増加するほど、サッカード長は大きく停留間隔が広がって、停留回数を減少させる方向に作用する一方、1行あたりの文字数が増加するほど過剰停留は増大し、停留回数を増加させる方向に作用する。より少ない停留回数を実現させるためには、トレードオフのバランスを変化させる必要がある。

まず、1行あたりの文字数が多い場合において、文節間改行レイアウトは、過剰な停留を抑制する効果を有することがわかった。過剰停留率の変化を示した図5から、文節間改行レイアウトでは、1行あたりの文字数が増加しても、固定長改行レイアウトより過剰停留の回数を小さく保っていることがわかる。この原因としては、文節間改行レイアウトでは行頭が常に文節先頭から開始されるために、行変え運動が容易になった可能性、すなわち行末から1回のサッカードで行頭付近の最適停留位置に当たる確率が増す分、行変え運動における過剰停留数が減少した可能性が推察されるが、逆行やサッカード長の変化を含めて、さらなる調査が必要である。

次に、1行あたりの文字数が少ない場合において、文節間改行レイアウトは、文字側の移動機構とあわせてより少ない停留で読み進められる効果があることがわかった。文節間改行レイアウトにおける、1行が短い場合の大幅なサッカード長の短縮は、視点を左右に動かさずに、文字側を上下方向にスクロール移動させながら読み進める割合が増加したことを意味している。すなわち、文節間改行によって1行が意味的なまとまりをもち、1回の停留での認識が望ましい文字列に1行が相当したために、左右方向への視点移動を必要とせず読めるようになったためと推察される。特に基準文字数5の場合において、日本語文章における平均サッカード距離は3~5文字[神部86]や5.5文字[Osaka91]の値が報告されているが、基準文字数5の文節間レイアウトにおける1行あたりの平均文字数は4.4文字であり、1回の停留で充分認識できる文字数と言える。

文字側を動かすことができない書物を読む場合は、文字列を目で追って読み進めていく都合上、サッカード長が短いほど停留回数は増大し、読み効率は低下する。しかし、電子リーダーでは視点を移動を抑えて文字側を移動させる読み方も可能であり、サッカード長の短縮が必ずしも停留回数の増大につながらなかったことがわかった。行長の短い文節間改行レイアウトによる、周辺視で最適停留位置を探らなくとも、タッチパネル操作によって意味的なまとまりの単位が次々と目視できる仕組みは、読み効率向上に大きな影響を及ぼしていると推察されるが、スクロール操作やスクロール移動する文字列への認識を含めて、さらなる調査が必要である。

以上の要因によって、文節間改行レイアウトでは、従来の固定長改行レイアウトよりも平均読み速度が向上すると推察されたが、この傾向は興味深い効果を生む。図2より、両レイアウトともに、1行あたりの文字数が少なくなるほど読み速度が低下する傾向が認められ、同様の傾向は電子リーダーの読みに関する先行研究においても報告されている[Duchnick 83, Dyson 01]。しかし、例えば画面に収まる文字数が5文字であった場合、本研究の文節間改行レイアウトを従来の固定長改行レイアウトのかわりに採用すると、1行あたりの文字数は5から4.4と減少するが、読み速度は約29%向上できると見なすことができる。すなわち、画面に収まるだけの文字数をベタ組みで描画するよりは、1行あたりの文字数は減少するものの、改行で文節が分断されない文節間改行レイアウトを採用する方が、読み効率が向上することを意味する。この傾向は、画面サイズの小さなデバイスにおいて本質的に発生する読み速度の低下を、文章レイアウトの工夫によって抑制できる可能性を示唆している点で、非常に興味深い。

5. おわりに

本研究では、文節間改行レイアウト、すなわち意味的なまとまりのひとつである文節を改行で分断しない仕組みを有する日本語リーダーを開発し、その効果を検証した。

文節間改行レイアウトでは、1行あたりの基準文字数5の場合に従来の固定長改行レイアウトよりも約29%、基準文字数40の場合に約9.4%、平均読み速度が向上する結果が得られた。文節間改行レイアウトは、従来の固定長改行レイアウトと比較して、停留時間は同等であるが、より少ない停留回数で読み進められることがわかった。停留回数が減少する原因としては、1行が短く1回の停留で読み取れる文字数の場合、1行がひとつの意味的なまとまりすなわちサッカード単位に相当し、視点の移動を文字側のスクロール移動で代替しながら読み進められる効果によるものと推察された。また1行が長い場合は、行頭が常に文節先頭から開始される文節間改行の特徴によって、行変え運動中の過剰な停留が抑制された可能性が推察された。文節間改行レイアウトによる意味的なまとまりが分断されずに配置される特徴が、停留回数の減少を促進し、読み効率向上に正の影響を与えることが推察された。

今後、過剰な停留の発生場所や要因、スクロール移動する文字列の読みについて、さらに調査を進める予定である。

謝辞

公立はこだて未来大学 松原 仁 教授に機材の便宜をお図り頂くとともに、公立はこだて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

- [Duchnick 83] Duchnick, R. L. and Kolers, P. A.: Readability of Text Scrolled on Visual Display Terminals as a Function of Window Size, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, Vol. 25, No. 6, pp. 683-692 (1983)
- [Dyson 01] Dyson, M.: The influence of reading speed and line length on the effectiveness of reading from screen, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 54, No. 4, pp. 585-612 (2001)
- [Kajii 00] Kajii, N. and Osaka, N.: Optimal viewing position in vertically and horizontally presented Japanese words, *Perception and Psychophysics*, Vol. 62, No. 8, pp. 1634-1644 (2000)
- [O'Regan 84] O'Regan, J. K., Levy-Schoen, A., Pynte, J., and Brugailere, 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)
- [Osaka 91] Osaka, N. and Oda, K.: 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)
- [山田 93] 山田 光穂, 福田 忠彦: 画像と眼球運動, 眼球運動の実験心理学, 第9章, pp. 199-218, 名古屋大学出版会 (1993)
- [神部 86] 神部 尚武: 読みの眼球運動における一つの停留中の情報の受容範囲, 国立国語研究所研究報告集, Vol. 10, pp. 59-80 (1986)
- [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)
- [荻阪 93] 荻阪 良二: 眼球運動研究史, 眼球運動の実験心理学, 第1章, pp. 3-32, 名古屋大学出版会 (1993)