

横書き縦並びレイアウトを用いた文章の速読支援システム

三谷 将大^{1,a)} 寺田 実^{1,b)}

概要：本研究では、眼球運動の特徴と係り受け解析から解析される文章構造に基づき、速読に有効と考えられるレイアウト、ハシゴレイアウトを考案し、視線計測による評価実験により有効性を示した。ハシゴレイアウトは横書きの文章を短く区切り、縦に並べて配置する、人間の眼球運動を理由に速読に有効と考え作成されたレイアウトである。電子媒体上での文章配置の研究は文章構造による動的なレイアウトができることから効果的な文章配置が読み速度を向上させる可能性がある。そこで本研究では、冗長な視線移動を減らすレイアウトとしてハシゴレイアウトを考案し、入力文をそのレイアウトに基づき提示するシステムを実装し、視線計測機器を用いて、被験者の視線データを計測、システムの有効性について評価した。その結果、ハシゴレイアウトでの読み速度の向上効果が一定程度認められた。また結果から、他の言語での応用や理解度に関する追加実験を行う必要があると考えた。

1. はじめに

文章を読むための眼球運動は、主に2つの特徴的な運動の繰り返しであることが視線の計測によって示されている [1].

- (1) 視野内の文章を、眼球の固視微動で捉える運動 (マイクロサッカード, Microsaccade)
- (2) 視点を移動させ、続く文章を視野に収める運動 (サッカード, Saccade)

このような眼球運動の特徴を用い、文章を速読するための手法として、高速逐次視覚提示手法 (Rapid Serial Visual Presentation) がある。

また、日本語文章の構造解析による文字配置と彩色等の視覚的效果を用い、読み速度の向上を図る研究も行われている [2], [3].

文章を紙媒体に印刷して表示する場合、紙面の大きさ等の物理的な制約が存在する。一方、電子媒体のディスプレイに表示することで、提示方法の自由度が向上すると考えられる。例えば、次のような提示が電子媒体では可能となる。

- 必要な表示領域の大きいレイアウト
- 表示方法の動的な変更

本研究では、眼球運動の特徴と係り受け解析から分かる文章構造に基づき、速読に有効と考えられるレイアウト、ハシゴレイアウトを考案し、視線計測による評価実験により有効性を示した。

2. 関連研究

2.1 Rapid Serial Visual Presentation(RSVP)

RSVP は、読書時における眼球運動の特徴から無駄な視線移動 (サッカード, Saccadic eye movements) を最小化する目的で開発された文章の動的提示手法の一つで、固定領域に自動的に単語を高速に提示する手法である。

Gilbert は、動的な文章提示手法として RSVP を実現し、一定時間間隔に1単語ずつ提示する実験から、サッカードを減少させることで、読み速度が向上したことを報告した。また、サッカードの有無と知覚上の誤りに相関があることを示した.[4].

Rubin らは、文章の長さを変化させたとき、RSVP と通常の文章で読み速度を比較する実験を行い、RSVP を用いた文章は通常の文章に比べて約 3.6 倍程度早く読めることを確認した [5]. 文章サイズと読み速度の関係を図 1 に示す。

Aries は、読者が自発的に次の単語へと遷移することのできる、RSVP の派生である Elicited Sequential Presentation(ESP) を開発し、その有効性を報告した [6]. Aries はボタンを押下することで次の単語を提示するシステムを用い、弱視の被験者を対象に有線テレビシステムにおける ESP が RSVP に比べ、平均 47% 早く読めることを確かめた。ESP と RSVP の読み速度の関係を図 2 に示す。

肥後は、日本語の文章を文節で区切り、高速逐次視覚提示手法を用いた表示を行う際、最適な速度で提示を行うことでユーザーが快適に読めるシステムを作成した [7]. 肥後は予備実験を行い、日本語の文節に関する情報と文節の表示時間の相関関係を調べ、それを基に表示時間の最適化を

¹ 電気通信大学

^{a)} m1831149@edu.cc.uec.ac.jp

^{b)} terada.minoru@uec.ac.jp

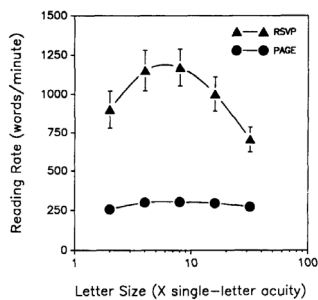


図 1 文献 [5]fig.1 より引用.
文章サイズと読み速度
の関係図

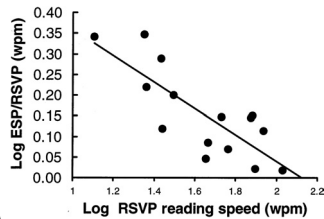


図 2 文献 [6]fig.2 より引用.
ESP と RSVP の読み
速度を比較した関係図

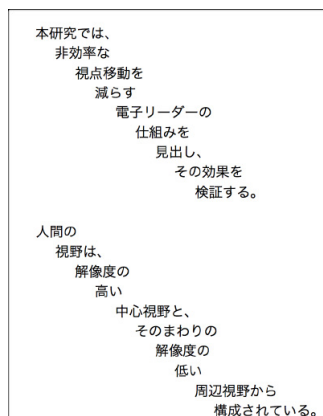


図 3 文献 [3]fig.17 より一部引用
階段インデント型単文節行レイアウト

行った。またシステムを用いて被験者実験を行い、被験者ごとの快適速度について報告した。

2.2 文節単位の文字配置と隔行単位の背景着色がもたらす日本語電子リーダーの可読性向上 [3]

小林らは文章を読み進める際の視点移動を効率化するため、文節に基づく改行位置の調整および文節単位で文字ベースラインを階段状にずらす表示方法などを用い、読み心地や理解度を維持したまま早く読むことのできる日本語リーダの研究を行った。結果、小林らの先行研究 [2] の課題であった短い文節での読み速度低下を抑えることに成功した。図 3 に日本語リーダの提示例を示す。

3. 切断値

3.1 目的

本研究では文章を文節の直後で区切る際、文節毎の文脈の切れやすさが異なり、区切る文節によって文章全体の読み速度が異なると考える。よって文脈の切れやすさの尺度を定めるため切断値を導入する。従って、切断値が大きい分節ほどその直後で文章を切断しやすい。

3.2 分割位置と読みやすさの関係

横書きの文章をある一定の横幅に収めるよう適宜分割し

私が大学で物理を学ぼうと思った理由を聞かれて、少し言葉に詰まった。というのも、正直、判然とした理由は無いと思ったからだ。思えば、家庭の環境がそうさせたのかも知れない。父親が高校で物理を教える教師であり、母親も小学校で教員を勤めていた。

私が大学で物理を学ぼうと思った理由を聞かれて、少し言葉に詰まった。というのも、正直、判然とした理由は無いと思ったからだ。思えば、家庭の環境がそうさせたのかも知れない。父親が高校で物理を教える教師であり、母親も小学校で教員を勤めていた。

図 4 左図、10 文字幅で折り返す横書き文章。右図、一行 10 文字以下かつ切れやすい文節で改行した文章

て表示する際、文中のどこで分割するかということが問題となってくる。英語のように分かち書きを基本とする言語の分割は、単語間での分割が適当であると考えられるが、日本語などの分かち書きされない文章では、分割位置には自由度がある。さらに、文節の境界の切れやすさにも程度の差がある。

文章の内容における文脈は様々なレベルで存在し、文章を改行等で物理的に区切った際にその文脈の区切り方には強弱があると考えられる。文章構造上に現れる句点や、読点、文節などは比較的的文脈を切りやすい文章構造として見ることができる。例えば芥川龍之介著『羅生門』の冒頭第一段落を考える。

ある/日の/暮方の/事である。/² 一人の/^{げにん}下人が、/^{らしょうもん}羅生門の/下で/雨やみを/待っていた。/³

斜線は文節の区切りを示す。数字を付加した斜線は (1) 読点、(2) 句点、(3) 段落末を示し、切れやすさが順に高くなる。

また、数字のない通常の文節についても、切れやすさに差がある。例えば、上の文章冒頭を抜き出し、斜線部分に切れやすさの順番で数字を付加すると次のようになる。

ある/¹ 日の/² 暮方の/² 事である。

図 4 に示すのは、それぞれ適当な幅で折り返した文章と一行が 10 文字以下となるよう切れやすい文節で区切った文章である。

図 4 に示した 2 つの異なるレイアウトでは、読みやすさが異なる。右図が左図より読みやすいのは、切れやすい文

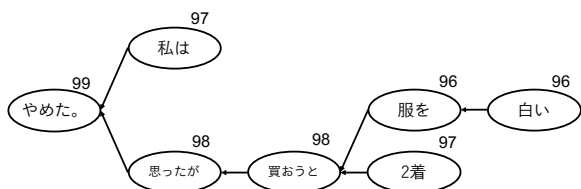


図 5 切断値を付加した係り受け解析木

節で区切ることで、視線の戻りが少ないからであると考えられる。図 4 右図が本研究で提案するハシゴレイアウトに基づいたものであり、最下段の空行は段落終わりの区切りを表すものである。

3.3 係り受け解析

切断値は文節同士の関係性を表す係り受け関係から算出されるため、係り受け解析を行う必要がある。係り受け解析は単語や文節同士の修飾関係である係り受け関係を分節毎に算出する解析である。文節の係り受け関係は文章中の文節毎の意味的な繋がり度合いが分かる重要な情報であると考えられる。

係り受け解析によって得られる係り受け解析木はノードが文節に対応し、文節同士の係り受け関係をエッジで結んだ木構造である。係り受け解析器を用いることで、文節やその番号、係り先の文節番号などの情報が得られる。

3.4 切断値の算出

係り受け解析木から切断値を再帰的に算出できる。求めたいノードの切断値を V 、そのノードの親ノードの切断値を V_p とすると次のように算出される。

$$V = \begin{cases} \text{初期値} & (\text{根ノード}) \\ V_p & (\text{親ノードの唯一の子ノード}) \\ V_p - 1 & (\text{親ノードの文節と隣接する文節を持つ}) \\ V_p - 2 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

ノードの初期値として 99 を与えたとき、次の文章

私は白い服を 2 着買おうと思ったがやめた。

に対し、切断値を付加した係り受け解析木の作成例を図 5 に示す。

4. ハシゴレイアウト

4.1 概要

ハシゴレイアウトは無駄な視線移動を減らすことを目的とした、矩形の提示領域に文章を提示する配置方法である。切断値が定義出来る文章を対象にし、書字方向には依らないが、本研究では主に横書きの日本語を対象としたハシゴレイアウトを用いる。ハシゴレイアウトを構成する文章構造について次のようなものがある。

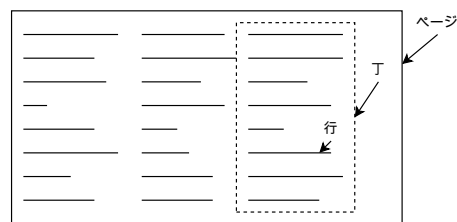


図 6 レイアウトの概念図

行 視野に収まる程度に分割した短い部分文字列

丁 行を提示領域内に上から下に並べた文章構造

ページ 丁を提示領域内に左から右に並べた文章構造

行の配置は左揃えや中央揃えが考えられる。

図 6 に行を左寄せで配置したハシゴレイアウトの 1 ページの概念図を示す。

このレイアウトを視線移動を減らすものとして考案した論拠は次の通りである。

- 一度の視野に収まる行長とすることで左右方向の視線移動を減らす
- 論理的な文章構造を解析し、適切な箇所分割することで視線の戻りを避ける

システムに文章が与えられたとき、切断値を付与した係り受け解析木を用いて行に区切る必要がある。ハシゴレイアウトにおける行が満たすべき性質は次の通りである。

- 予め決められた制限文字数を超えない
- 行末の切れやすさを超える切れやすさを持つ文節が行中に登場しない

4.2 読書システムについて

本システムは Python3.7 を用いたスタンドアロンな GUI デスクトップアプリケーションとして実装。macOS Catalina 10.15.2 にて動作を確認した。

システムの構成を図 8 に示す。システムは大きく 3 つの部分で構成されており、ユーザーに提示する部分は文章提示画面と設定画面の 2 つである。レイアウト計算部分では、文章サイズやレイアウト設定に基づいて文字の配置を計算し、文章提示部分に計算結果を渡す。システムの GUI を図 7 に示す。図 7 左側のウィンドウは制御 UI、右側は提示 UI である。制御 UI では着色や文字サイズの変更といった細かい提示方法の調整を行う。提示 UI では文章を提示し、キー入力を受け付ける。

5. 評価

5.1 概要

読書システムを用いて実験を行い、固定長横書きレイアウトとハシゴレイアウトで読み速度と視線の移動に変化があるか調べる。

この章では以降、固定長横書きレイアウトを L_0 、ハシゴレイアウトを L_1 と呼ぶことにする。

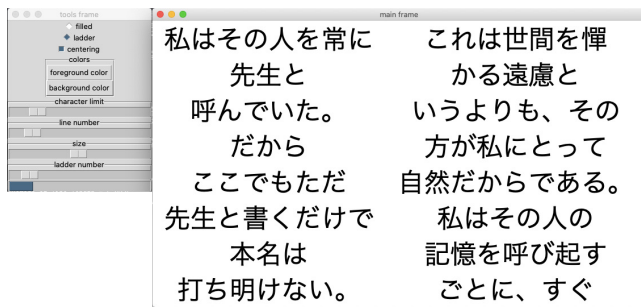


図 7 システム全体の GUI

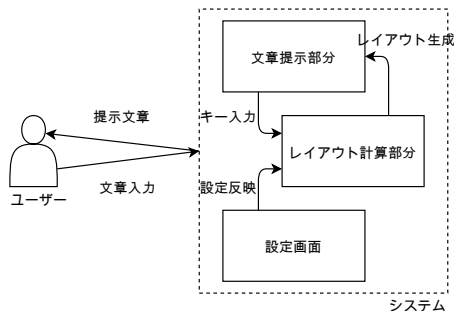


図 8 システムの構成

表 1 被験者のグループ分け	
グループ名	被験者
G_1	A, B, E, F
G_2	C, D, G

実験全体を通して、2種類のレイアウトを比べる際には、 L_1 における一行の制限文字数を定めて実際に提示された際の文章全体での平均行長を求め、 L_0 はその行長での固定幅で提示した。

実験に参加した被験者計7名を2つのグループ G_1, G_2 に分け、実験の手順や用いる文章を変えて実験を行った。被験者7名をそれぞれA, B, C, D, E, F, Gと表記する。内4名は眼鏡及びコンタクトレンズを装着していたが、事前に視線計測機器のキャリブレーションを行う際、問題は生じなかったため、眼鏡等を装着したまま実験を行った。表1にグループとそれに属する被験者を示した。

被験者は実験中ページ送りのためEnterキーを押す際に視線が移動しないよう、Enterキーに指を添えた状態から実験を始めた。また、読み方に関しては普段本を読むのと同様に読むよう指示した。

視線計測機器は実験前に被験者毎にキャリブレーションを行い、測定する際には測定間隔は1/60秒で計測した。また、被験者の瞬きによって視線が途切れた場合、そのデータを計測データから除外した。測定領域は1440x900に合わせるため、画面の左上を座標(0,0)、右下を(1,1)となるよう測定した。

表 2 実験1の文章を構成する文字情報

文章	文字数	漢字数	平仮名数	片仮名数	記号数
x	1509	300	1041	58	105
x_1	504	111	324	34	33
x_2	1005	189	717	24	72
y	1487	291	1067	50	74
y_1	509	91	374	16	27
y_2	978	200	693	34	47

表 3 被験者のレイアウト L_0 における視線計測データ

被験者	データ数		視線の移動距離		瞬き回数
	視認	非視認	水平方向	鉛直方向	
A	1438	54	11.31	20.83	14
B	2808	360	26.67	46.26	60
C	3654	346	22.56	34.67	71
D	2959	938	31.51	66.65	181
E	5524	264	27.18	46.84	14
F	2610	1124	20.09	41.19	82
G	1390	332	7.802	17.20	30

5.2 実験1

5.3 概要

2つの小説、Franz Kafka 著、原田義人訳『DIE VERWANDLUNG(邦題:変身)』と『ERSTES LEID(邦題:最初の苦悩)』を用意した。説明のためそれぞれの小説を X, Y とする。小説 X, Y よりそれぞれ冒頭1500字程度を抽出し、更に2つの部分に分割した。抽出部分を x, y 、分割部分を x_1, x_2, y_1, y_2 とする。用いた文章についての情報を表2にまとめる。

参加した被験者は7名全員である。提示領域には1ページ10行3丁の文章をそれぞれのレイアウトで提示した。

G_1 に属する被験者には次の実験を行った。実験前に文章 x, y についてレイアウト L_1 の行長上限文字数を8文字として提示したときの平均行長が5文字であったことから、比較するレイアウト L_0 での行長上限文字数を5文字とした。

- (1) 文章 x_2 を制限文字数4のレイアウト L_0 で読む
 - (2) 文章 y_2 を制限文字数8のレイアウト L_1 で読む
 - (3) 文章 x_1 を制限文字数4のレイアウト L_0 で読む
 - (4) 文章 y_1 を制限文字数8のレイアウト L_1 で読む
- 3, 4で得られた視線データを評価に用いる計測データとして用いる。

G_2 に対しては G_1 に対する実験のうち、提示するレイアウトの順番を交換して同様に行なった。

5.4 結果

各被験者の計測データを表3, 4にまとめる。

計測したデータは一定時間間隔で計測するため視認データ数は読書時間、非視認データ数は瞬きの時間と考えられる。従って、連続した非視認データを一回の瞬きとして瞬きの回数を数えた。

水平、鉛直方向の視線の移動距離は、一連の視認データに

表 4 被験者のレイアウト L_1 における視線計測データ

被験者	データ数		視線の移動距離		瞬き回数
	視認	非視認	水平方向	鉛直方向	
A	972	23	10.31	17.65	18
B	2452	344	27.22	40.47	64
C	4670	134	27.71	44.84	26
D	2597	556	24.70	46.90	107
E	4672	90	23.02	38.96	16
F	2196	724	17.78	31.10	58
G	956	77	6.713	16.45	11

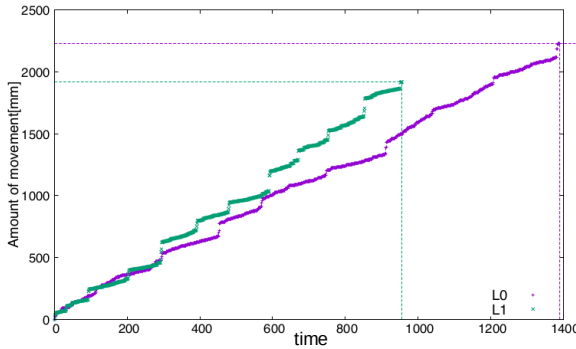


図 9 被験者 G の水平方向の視線移動距離

対し、測定した視点から次の視点へと移動する距離の水平、鉛直成分の大きさを足し合わせていくことで算出した。

被験者ごとに視認データ数と水平方向の視線移動距離に関するプロットを得ることができた。被験者 G のデータを図 9 に示す。被験者 C を除く全ての被験者に同様の傾向が見られた。

5.4.1 考察

被験者 C は他の被験者と実験結果の傾向が異なり、水平方向の視線の移動と読み終わりの時間がどちらもレイアウト L_0 の方が、レイアウト L_1 よりも大きかった。本人に確認を取ったところ、被験者 C は母語を中国語としており、実験で用いた文章を読む際には一字一句丁寧に読み進め、読み戻しが発生していたことが確認できた。実験で使った文章は全て日本語で記されたものであり、それを日本語を母語としない被験者に提示してしまったことで、適切な結果が得られなかったと考えられる。

被験者 B も他の被験者と異なる傾向の結果が得られたが、視線データの 400 500 番目において視線の錯綜が確認でき、結果に影響を与えたと考えられる。

表 3,4 の結果より、被験者 C を除く 2 種類のレイアウトと視認データ数に対し、ウィルコクソンの符号順位検定 (Wilcoxon signed-rank test) を用いて検定を行った結果 $p = 0.02771$ となった。有意水準 $\alpha = 0.05$ とすると、レイアウト L_0 よりもレイアウト L_1 で文章を読む場合、優位に早いという結果となった。

同様に水平方向の視線の移動距離についても検定を行ったが有意差は出なかった。しかし被験者ごとに類似した特

表 5 実験 2 の文章を構成する文字情報

文章	文字数	漢字数	ひらがな数	カタカナ数	記号数
x'	1547	319	1102	26	94
x'_1	508	125	331	20	30
x'_2	518	95	388	3	30
x'_3	521	99	383	3	34
y'	1519	372	1039	25	80
y'_1	496	145	316	8	26
y'_2	477	107	339	3	26
y'_3	546	120	384	14	28

徴が出ている場合が多かったため、被験者の数を増やすことでレイアウトの違いによる視線の傾向が確かめられると考えられる。対して、鉛直方向の視線の移動距離はどちらのレイアウトも特に異なる傾向は認められなかったため、被験者を増やしても有意差は出ないと考えられる。

5.5 実験 2

5.5.1 概要

2 つの小説、Franz Kafka 著、原田義人訳『DAS URTEIL(邦題:判決)』と『EIN HUNGERKUNSTLER(邦題:断食芸人)』を用意した。説明のためそれぞれの小説を X', Y' とする。小説 X', Y' よりそれぞれ冒頭 1500 字程度を抽出し、更に 3 つの部分に分割した。抽出部分を x, y 、分割部分を $x'_1, x'_2, x'_3, y'_1, y'_2, y'_3$ とする。用いた文章についての情報を表 5 にまとめる。

参加した被験者は 4 名である。提示領域には 1 ページ 10 行 2 丁の文章をそれぞれのレイアウトで提示した。

G_1 に属する被験者には次の実験を行った。なお、実験前に文章 $x'_1, x'_2, x'_3, y'_1, y'_2, y'_3$ についてレイアウト L_1 の行長上限文字数で提示した場合の平均行長をレイアウト L_0 の行長上限文字数とした。

- (1) 文章 y'_1 を制限文字数 4 のレイアウト L_0 で読む
- (2) 文章 y'_2 を制限文字数 6 のレイアウト L_0 で読む
- (3) 文章 y'_3 を制限文字数 7 のレイアウト L_0 で読む
- (4) 文章 x'_1 を制限文字数 4 のレイアウト L_1 で読む
- (5) 文章 x'_2 を制限文字数 8 のレイアウト L_1 で読む
- (6) 文章 x'_3 を制限文字数 12 のレイアウト L_1 で読む

G_2 に対しては G_1 に対する実験のうち、提示するレイアウトの順番を交換して同様に行なった。

5.5.2 結果

それぞれの被験者において実験 1 で得られたデータと同様の傾向が見られた。また、制限文字数を変化させたことでレイアウト間の読み速度の比率は表 6 のようになった。

被験者 G のそれぞれの行長上限文字数での左右方向の視線移動距離の図を図 10, 図 11, 図 12 に示す。この内、表 6 にも示したとおり、8 文字程度の場合、レイアウト間の比が最も大きくなった。

表 6 被験者の同程度の制限文字数におけるレイアウトの読み速度の比 (下線部は被験者の最大値)

被験者	L_0 での読み速度/ L_1 での読み速度		
	文字数 4 程度	文字数 8 程度	文字数 12 程度
B	1.263	<u>1.284</u>	1.037
C	<u>0.8768</u>	0.7985	0.7837
D	1.170	<u>1.302</u>	1.141
F	1.210	0.9422	<u>1.399</u>
G	1.474	<u>2.404</u>	1.790

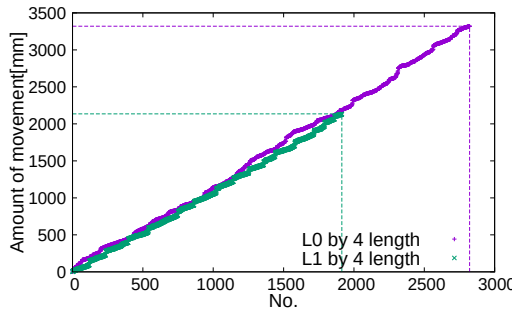


図 10 被験者 G の制限文字数 4 での累積水平視線移動距離

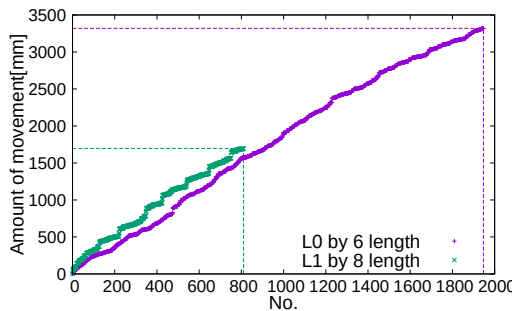


図 11 被験者 G の制限文字数 8 程度での累積水平視線移動距離

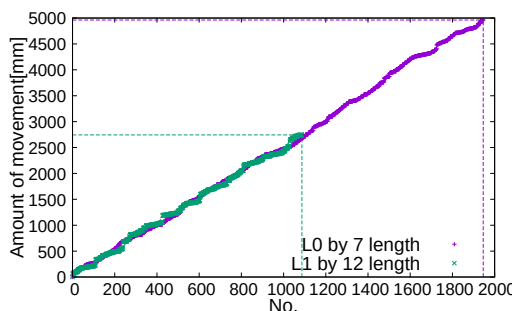


図 12 被験者 G の制限文字数 12 程度での累積水平視線移動距離

5.5.3 考察

表 6 から、被験者 C は 2 種類のどの行長においても殆ど読み速度の比に変化は見られなかった。これは前述の理由より、レイアウトによる読み方の違いがなかったことが原因であると考えられる。また、その他の被験者は行長上限文字数 8 程度の時、レイアウト L_1 での読み速度が比較的早かったが、被験者 F のみ文字数 12 文字が最も早くなった。他の被験者との違いは視線データは比較的読み戻しが多かったため、結果に影響したと考えられる。例えば被験者 F の視認データのうち初めから 1200 番目までの視線デー

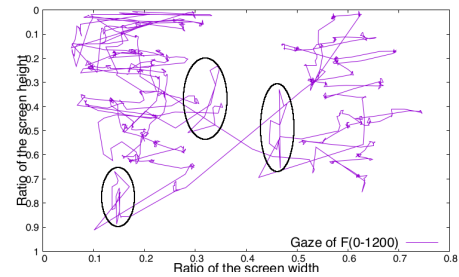


図 13 被験者 F の 8 字制限 L_1 における視線 (黒丸は読み戻し箇所)

タを図 13 に示す。図 13 から読み始め部分も視線の錯綜が多くあったことが確認できる。

6. おわりに

本研究では、速読のためのレイアウト、ハシゴレイアウトを考案し、そのレイアウトで入力文を提示するシステムを実装した。ハシゴレイアウトは横書きの文章を短く、縦に並べて配置する、人間の眼球運動を理由に速読に有効と考え作成したレイアウトである。

読み速度や視線の移動距離を固定行長の横書きレイアウトと比較するため、視線計測機器を用いて視線計測を行い、被験者の視線データからシステムの有効性について評価した。その結果、ハシゴレイアウトでの読み速度の向上効果が一定程度認められた。一方で、被験者の母語が異なる場合や行長の変化によって効果が低下することが考えられる。今後、日本語以外の文章での応用やニュース記事など小説以外の文章提示を行い、ハシゴレイアウトの有効性がどこまで認められるのか検証していく。また、今回の実験では計測しなかった文章の理解度に関する実験も追加で実施し、読み速度と理解度の観点から評価をする必要があると考える。

参考文献

- [1] 井川美智子, 中山奈々美, 前田史篤: 縦書き・横書き文章における読書時の眼球運動の比較 (特集 第 59 回日本臨床眼科学会講演集 (5)), 臨床眼科, Vol. 60, No. 7, pp. 1251-1255 (2006).
- [2] 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).
- [3] 小林潤平, 関口 隆, 新堀英二, 川嶋稔夫: 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, Vol. 32, No. 2, pp. A-AI30.1 (2017).
- [4] Gilbert, L. C.: Saccadic movements as a factor in visual perception in reading., *Journal of Educational Psychology*, Vol. 50, No. 1, p. 15 (1959).
- [5] Rubin, G. S. and Turano, K.: Reading without saccadic eye movements, *Vision research*, Vol. 32, No. 5, pp. 895-902 (1992).
- [6] Arditi, A.: Elicited sequential presentation for low vision reading, *Vision Research*, Vol. 39, No. 26, pp. 4412-4418 (1999).
- [7] 肥後亮佑, 寺田 実: 高速逐次視覚提示された文章の最適表示時間と快適速度, 修士論文, 電気通信大学卒業論文 (2017).