

2019 年度修士論文

論文題目

老視者のスマートフォン利用を考慮した
フレームアウトしない部分ズーム手法

(Partial Zoom on Small Display without Frame-out for
People Suffering from Presbyopia)

指導教員

舟橋 健司 准教授

名古屋工業大学大学院 工学研究科 情報工学専攻

2018 年度入学 30414108 番

名前 方 慧宜

目 次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	各表示形式における拡大後の黙読時間と読み心地の調査	8
2.1	従来の表示形式とその拡大	8
2.1.1	固定レイアウト型 (Fixed-layout) の拡大	8
2.1.2	再流動型 (Reflowable) の拡大	9
2.1.3	拡大鏡による拡大	10
2.2	実験 1 : 再流動型表示における拡大時の黙読時間と読み心地の調査	12
2.2.1	実験概要	12
2.2.2	実験手順	12
2.2.3	実験結果	16
2.3	実験 2 : 固定レイアウト型表示における拡大時の黙読時間と読み心地	18
2.3.1	実験概要	19
2.3.2	実験手順	19
2.3.3	実験結果	25
2.4	実験 3 : 拡大鏡使用時の黙読時間と読み心地	27
2.4.1	実験概要	28
2.4.2	実験手順	28
2.4.3	実験結果	32
第 3 章	周辺情報がフレームアウトしない部分ズーム手法	34
3.1	人の読書時における情報収集の特性をもとにした提案手法	34
3.2	文章の部分ズーム手法	37
3.3	画像の部分ズーム手法	42
3.4	文章と画像の境界のズーム手法	47
第 4 章	各表示形式や拡大鏡使用における拡大と提案手法を用いた拡大の評価実験	54
4.1	実験概要	54
4.2	実験手順	55
4.3	実験結果	63
第 5 章	むすび	70
	謝辞	72
	参考文献	73

第1章 はじめに

2010 年頃から普及し始めたスマートフォンの個人保有率は毎年増加している [1]. この傾向は若年者だけでなく, 50 代以上の中高齢者にもみられる. またスマートフォン保有率と同様に, 中高齢者のインターネット利用率も増加している [1][2]. 中高齢者は電子メールの送受信を中心に, 地図・交通や天気情報そしてニュース等の Web サイトの閲覧と, 幅広い用途でインターネットサービスを利用している [2]. もちろんこれらのサービスはスマートフォンだけではなく, パソコンやフィーチャーフォンでも利用可能である. 中高齢者のインターネット接続端末は, 現状ではスマートフォンに比べてパソコンやフィーチャーフォンの方が多い [1]. しかし, パソコンはスマートフォンよりも大きいため携帯性が低く, また使用可能場所に制限がある. フィーチャーフォンは, フィーチャーフォン向けのサイトが閉鎖するなど, インターネットに接続しても利用できる機能が少なくなっている. 逆にスマートフォン向けのサービスは充実し, 現在も増加し続けている. これらのことから, 今後中高齢者のスマートフォン利用率は増加すると考えられる.

ところで, 人の眼には調節機能があり, 見たい距離に応じてピントを合わせることができる. この調節は, 主に水晶体の厚みを変化させることによって行っている. しかし, 水晶体は加齢により弾性を失い硬化し, 厚みを変化させることが困難となる. この水晶体の硬化によって, 調節機能が低下することを老視 (一般には老眼) と呼ぶ [3]. 老視は近視や遠視などの屈折異常に関わらず, 誰にでも起こる生理的な現象である. 平均 40 代頃から近点 (ピントが合う最も近くの位置) が遠ざかり, 近方視が困難になる. 例えば正視の人でも, 40 代では近点が眼から約 20cm であるが, 50 代ではおよそ 40cm, 60 代では 80cm まで遠ざかる [4]. そのため, 老視者が細かい文字で書いてある手元の本を読もうとした場合に顔に本を近づけると, 文字は大きく見えるがピントが合わず認識できない. しかし顔から本を遠ざけると, ピントは

合うが文字は小さくて読めないという問題が起こる。そして、一般的に老視症状があるとされる中高齢者が、スマートフォンを用いて電子メールやニュースを見る場合も、この問題は起こる。そのため彼らがスマートフォンを用いるときは、端末を遠ざけるとともに画面の表示を拡大しなければならない。この場合、ピンチ操作やダブルタップによって拡大することができるが、タッチパネルの操作に慣れていない中高齢者はこれらの操作に気づかない [5]。

そこで当研究室ではこれまでに、顔とディスプレイの距離を測定し、画面の表示サイズを自動で拡大縮小する機能 [6] をもとに、先に挙げた老視の症状によってスマートフォン等が使いにくいという問題の解決を試みている [7]。例えば人が手元にある地図を見ている際、細部まで詳しく見ようと思うと、対象物に顔を近づける。逆に全体を観察しようと思えば、対象物全体を視野に入れるため対象物から顔を遠ざける。最初に、この特性を利用した自動ズームを提案している。このズームは、顔とディスプレイの距離が近づいたと判断されたら表示を自動で拡大し、遠ざかったと判断されたら縮小する [6]。しかし、老視者は全体を観察するためではなく、ピントを合わせるために対象物から顔を遠ざける場合もある。そのため、次にこの老視者の特性を利用した、老視者に対応したズームを提案している。このズームでは、老視者がピントを合わせるために対象物を顔から遠ざけたと判断されたら、あえて画面上の表示を自動で拡大する。ただし、老視者でも全体像を把握したいために対象物を遠ざける場合も考えられる。この場合には、拡大ではなく縮小処理を行う必要がある。そこで、老視者が老視症状に起因する動作と、そうではない通常の動作のどちらを行っているかを区別する境界を検討する。そして、老視者に対応したズームを行うか、そうではないズームを行うかを自動で区別できるようにする [7]。

この老視者に対応した自動ズームの実験システムでは、固定レイアウト型の表示形式を採用している。固定レイアウト型とは、文章や図表などの各要素の配置が固定されている表示形式である (図 1.1) [8]。そのためこの表示形式では、拡大前後でレイアウトが変わらず、拡大すると最初にディスプレイに表示されていた文章や画像の一部が収まらなくなり、表示されなくなる。このときサイズの大きいタブレットを使用している場合は、画面上の表示サイズ自体が十分大きいため、わずかに拡大するだけでよい。そのため、最初の表示からあまりフレームアウトしない。しかし、



図 1.1: 固定レイアウト型表示とその拡大

サイズの小さいスマートフォンの場合、画面上の表示サイズ自体が小さいため、かなり拡大しなければならず、結果として最初に表示されていた部分の多くがフレームアウトする。つまり、中高齢者がよく閲覧する電子メールやニュースなどの文章をスマートフォンの拡大すると、文章が途切れて一部の単語しか見えない場合が多い。スマートフォンを使用する場合、老視症状がない正視の人は、拡大されていない状態でも、既に文章全体がはっきり見えている。そのため拡大操作を行う状況は、ある部分や単語だけ詳細に見たい場合に限られる。そのため、拡大で注目したい部分以外がフレームアウトしても気にならず、用が済めば拡大前の表示サイズに戻ってしまう。ところが老視者の場合は、画面を遠ざけてピントを合わせても全ての文字が小さくて見えにくいために、止むを得ず拡大するが、文章の一部しか画面に表示されなくなる。このとき、拡大したまま文章全体を読もうとすると、スクロール操作が必要になる。スクロール操作は何回も繰り返さなければならず、手間がかかる。また画面に表示されている部分が全てと思い込む高齢者もあり、彼らは画面をスクロールせずに情報検索を終えてしまう [9]。そのため、高齢者向けのデザインについてまとめられた書籍や論文では、スクロールは最小限で、あるいはスクロールしないで見られる形式が望ましいとされている [10][11]。

(a) 人の眼には調節機能があり、見たい距離に応じてピントを合わせ...

(b) 人の眼には調節機能があり、見たい距離に応じてピントを合わせ...

● : 注視点 : 情報が収集される範囲

図 1.2: 停留時の情報受容範囲と視線移動 ((a) から (b)) の例

一方、人は読書時に短時間における視線の停止 (停留) と素早い視線移動 (サックード) を繰り返し、停留時に注視点を中心として周辺 10 文字程度の範囲で情報を収集している [12]。そして、前もって情報を得ている周辺 10 文字程度の範囲から 3 から 5 文字ほどの位置で次の注視点を選び、図 1.2(a) から図 1.2(b) のように実際に注視点の移動を行い、重複して情報を収集する。この注視点周辺における事前の情報収集を妨げると、円滑な読書ができなくなると言われている。実際に、被験者が黙読する際に見せる文字数をスリットなどを用いて制限すると、見える文字数が少ないほど、1 行当たりの黙読時間が増加するという研究結果がある [12]。また黙読時間以外の点に着目した研究もある。樋渡らの研究では、黙読時に見せる文字数を 1 行につき 1 文字から 4 文字に制限すると、次の注視点への移動はほぼ 1 文字しか行われないことが判明している [13]。これは、無意味な文字の羅列を読んでいるときに近いと言われている。つまり、文章を読む際には周辺情報の有無が、文章の黙読時間や読みやすさに影響を及ぼす。すなわち、先ほど述べた固定レイアウト型での拡大は、黙読時に必要な周辺情報を失うことがあるため、老視者にとって快適な黙読を妨げている可能性がある。老視者は表示を拡大した後、たとえスクロールをして他の場所を表示させたとしても、小さな画面内では周辺情報が欠如した状態で読まなければならない。例えば図 1.1 の拡大後の文章を黙読している際、画面中央の文字を注視していれば周辺情報が十分に取得できるが、スクロールをする前に画面下部の文字を注視すると周辺情報が足りなくなる。他にも、大幅に拡大して画面に表示される文字数が 10 文字を下回ると、画面のどこを注視しても周辺情報が欠如してしまう。そのため画面を拡大した際には、先の段落で挙げたスクロールによる読書時

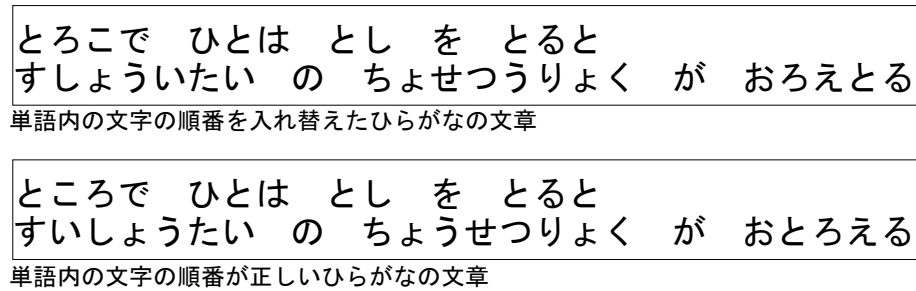


図 1.3: 単語内の文字の順番を入れ替えたひらがなの文章と文字の順番が正しい文章

の手間よりも、黙読に必要な周辺情報が欠如する方が重大な問題である。

それなら、できる限り周辺情報を残すような拡大にすれば、老視者は手間のかからない黙読ができるのではないかと考える。例えば認知科学の分野では、読書時の語の認知には、その語に先立つ文や語が関与していることが研究によって明らかになっている [14]。ある語を認知したい時に、関連する文章あるいは単語が先行して与えられていると、文章が無い場合や関連しない文章が与えられている場合に比べて認知に要する時間が短くなる。これはプライミング効果とも呼ばれ、事前に与えられた情報が、後に与えられる刺激の処理に影響するという効果である。つまり、注視点以外の周辺情報を残すことで、同じ効果が期待できる。ところで、人の視野の中で高解像度で情報収集できるのは、注視点の周り約2度(30cm離れた所では半径約0.5cmの円相当)の範囲のみである [15]。そして注視点から離れるにつれて、眼の網膜上に映る解像度が低下する [16]。そのため、注視点から離れた文字は正しい形で認識されていない場合が多い [17]。また、人はひらがなやアルファベットなどの表音文字で構成された単語は、最初と最後以外の中身の文字が入れ替わっていても問題なく読める [18](図 1.3)。この現象は、インターネット上ではタイポグリセミア現象と呼ばれている [19]。1文字ずつ読むのではなく、単語の概形や最初と最後の文字だけを認識して読むと起こると言われている。これらのことから、例えば明瞭な周辺情報ではなく、文字の縮小やぼけなどのある不明瞭な周辺情報でも読書時に有効だと考えられる。例えば、図 1.4(a)のように文章全体がはっきりしているものが最も読みやすい。しかし、図 1.4(b)のように周辺が不明瞭でも、概形や文意から経験的にある程度推測して読める。そのため、図 1.4(c)のように周辺部分が欠如して

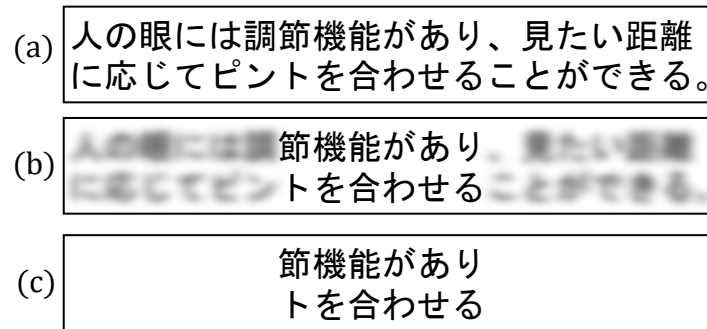


図 1.4: 見え方が異なる文章を用いた文章の読みやすさの比較： (a) 文章全体が明瞭，(b) 文章の一部が不明瞭，(c) 文章の一部が欠如

いるよりも，図 1.4(b) の方が文章全体を把握できると考えられる。

そこで本研究では，老視者がスマートフォン等の小さな画面で表示を拡大する際に，拡大によって表示されていた部分がフレームアウトすることで生じる問題の解決方法を考える．具体的には，拡大後に通常の拡大ではフレームアウトされる周辺情報を残すことで，拡大によって発生するスクロール操作や周辺情報収集の手間を無くし，かつ老視者が読みやすいと感じるような拡大方法を考える [20]．そのため，画面に表示されている全てを拡大するのではなく，注目したい部分を拡大しそれ以外の部分を縮小するような部分拡大をする．これにより，表示を拡大させた後のフレームアウトも発生せず，またスクロールも生じない．実際にそのような部分拡大方法を取り入れた研究がある．竹内らが研究している Focus+Glue+Context マップは，拡大時に地図上で注目領域を拡大表示しつつも，周辺領域も均一な縮尺で描画し，地図上での視認性と一覧性を両立させる提案をしている [21]．この提案手法では，注目領域と周辺領域の間に，両者を結ぶための圧縮した領域を設置している．そのため，拡大後も周辺情報がフレームアウトしない．しかしこの拡大方法では，注目領域のすぐ近くが最も縮小され，一部の道路も省略されている．

今回は老視者が主に文章を読む際の拡大を改善したい．そのため読書時に注視点の周辺情報を取得することを考慮すると，注視点に近い周辺領域ほど拡大した方が，周辺情報の取得もしやすいと考えられる．ところで，当研究室の自動ズームシステム [6][7] で採用している固定レイアウト型以外にも表示形式は存在し，表示形式によっ

て拡大後の表示が異なる．そしてそれらの形式で拡大を行うと，本当に黙読時間や読み心地に影響を与えるかは不明である．そのため最初に，固定レイアウト型を含め，どのような表示形式と拡大方法があるかを調べる．そしてそれぞれの形式で拡大したときに，拡大前と比べて読み心地と黙読時間がどのように変化するかを調査する．また，拡大した際にフレームアウトする文字数を変化させ，黙読時間の増加や読み心地の低下が起こらない拡大の条件も調査する．そして次に，調査結果と読書時の周辺情報の取得に関する先行研究をもとに，本問題を解決できる新しいズーム手法を提案する．具体的には，文章中の注目している単語を拡大させた場合，周辺の拡大率を拡大箇所から遠ざかるほど徐々に下げて縮小する方法を検討する．これにより，注視点より離れた周辺情報は縮小されフレームアウトしない．そのため，拡大すると現在の注視点とその近傍は見やすくなり，また近傍以外の周辺情報も縮小されているが画面内に収まるため，周辺視によって単語の長さや概形などの一部の情報が得られると期待される．この結果，読みやすさが向上すると思われる．また拡大による余計なスクロールが発生せず，操作上の手間も無くなると予想できる．

加えて本研究では，提案手法による拡大と，固定レイアウト型表示での拡大を含むよく使われている形式の拡大との比較調査も行う．前段で述べた調査と同じく，拡大前と比べて読み心地と黙読時間がどのように変化するかを調査する．更に，被験者から読み心地の評価理由や使用後の感想を聞き取る．これにより，提案手法による拡大は老視者の黙読の手間を軽減できるかどうかを判断する．そして，老視者が手間や読みにくさを感じない実用的な拡大方法を実現するための今後の課題を検討する．

以下本論文では，2章でよく使われている表示形式，拡大方法とその読み心地の調査結果について記述し，3章で人の読書時における情報収集の特性と，それを利用した提案手法について述べる．そして4章で提案手法と2章で述べた方法の比較，評価を行い，5章で結論と今後の課題について述べる．

第2章 各表示形式における拡大後の黙読時間と読み心地の調査

1章で固定レイアウト型表示の拡大は老視者の快適な黙読を妨げているのではないかと予想した。しかし、本当にスマートフォンのような小さな画面領域で拡大を行うと黙読時間や読み心地に影響があるかどうかは不明である。そのため、拡大による周辺情報のフレームアウトによって、黙読時間は増加し、読み心地は低下すると仮定し実験する。また、拡大した際にフレームアウトする文字数を変化させ、どの程度フレームアウトしたら黙読時間や読み心地に影響が出るのかも調査する。

本章では最初に、1章で紹介した固定レイアウト型を含めた表示形式と、形式ごとの拡大後の表示状態を説明する。そして次に、それぞれの方法で文章を拡大した際の黙読にかかる時間と、読み心地の主観的な評価を調べる。加えて、どの程度フレームアウトしたら黙読時間や読み心地に影響がでるのかも、各表示形式ごとに調べる。

2.1 従来の表示形式とその拡大

最初に、スマートフォンでよく使われている表示形式とその拡大について整理する。文章の拡大に焦点を当てているため、電子書籍の表示形式を参考に説明をする。表示形式は全部で2種類あり、固定レイアウト型と再流動型である。また、表示形式に問わず物理的なレンズを用いて拡大できる拡大鏡も、高齢者が頻繁に使う手段なので合わせて説明する。

2.1.1 固定レイアウト型 (Fixed-layout) の拡大

最初に、当研究室の自動ズームシステム [6][7] でも用いられた、固定レイアウト型の表示形式とその拡大について説明する。固定レイアウト型とは、印刷された書

籍と同じように、文章や図表などの各要素の配置が固定されている方式である [8]。フィックス型もしくは非リフロー型とも呼ばれる。この表示形式で拡大すると、文章や図表のレイアウトが変わらない (図 1.1)。そのため、雑誌などの写真やイラストが多用された書籍やコミックスなどに多く用いられる表示形式である。スマートフォンでレイアウトが固定された Web サイトや PDF ファイル等をピンチ操作で拡大する場合も図 1.1 のように拡大される。この表示形式の拡大では、拡大するほど周辺情報がフレームアウトする。また、元々画面内に収まっていたあるページを全て読もうと思うと、スクロールをしなければならず、手間がかかる。そのため、文献 [12] 内のスリットで見える範囲を制限し、スリットを移動させながら黙読する実験と同様に、拡大するほど黙読時間が増加すると予想する。

2.1.2 再流動型 (Reflowable) の拡大

次に、再流動型の表示形式とその拡大について説明する。再流動型とは、文章のフォントサイズや行間、そして文章と図表などの各要素の配置が流動的に表示される方式である [22]。リフロー型とも呼ばれる。この表示形式は紙の書籍のようなページという概念がないため、いつでも文字のサイズや行間、改行位置を変更できる (図 2.1)。そのため、小説などの文章が主体の書籍に多く用いられる表示形式である。スマートフォンでも電子書籍アプリケーションで小説やビジネス書といった文章が主体の書籍を読む際によく見られる形式で、拡大をすると図 2.1 のようにレイアウトが再編される。そのため、固定レイアウト型のように文章が途中で途切れるような表示にはならない。その代わり、拡大するほど 1 行の文字数が減少する。つまり、大幅に拡大して 1 行の文字数が黙読に必要な文字数より下回ると、黙読に影響を与えるのではないかと予想する。加えて 1 行の文字数が減少するため行数が増加し、Web サイトならば 1 ページの縦の長さ、書籍ならばページ数が増える。そのため、ページ送りやスクロールが手間に感じる可能性がある。他にも、拡大後に読みたかった段落を見失うことも考えられる。また、元々レイアウト可変となるよう作られたものでなければこの拡大はできないため、使用できるコンテンツが限られる。



図 2.1: 再流動型表示とその拡大

2.1.3 拡大鏡による拡大

最後に、拡大鏡について説明する。拡大鏡とは、物体を拡大してみることが出来る凸レンズであり、虫眼鏡やルーペと呼ばれるものである。スマートフォンやパソコンでアプリケーションとして用意されており、物理的なレンズを持っていなくても使用できる。スマートフォンの表示を拡大する場合は、図 2.2 のように物理的に拡大鏡を使う方法もあれば、図 2.3 のようなウィンドウズーム機能を使用する方法もある。物理的な拡大鏡もスマートフォンのウィンドウズーム機能も、電子書籍や Web サイトなど表示形式に関わらず使用できる。拡大鏡は通常の表示の上にレンズが重なり、レンズの内部に拡大された表示が見える。そのため、レンズ内部の表示と通常表示が連続しておらず、拡大部分の近傍が画面から消える。つまり、周辺部分の欠落により黙読時間と読み心地に影響が生じるのではないかと予想する。また、元々画面内に収まっていたあるページを全て読もうと思うと、拡大鏡を頻繁に動かさなければならず、手間がかかる。

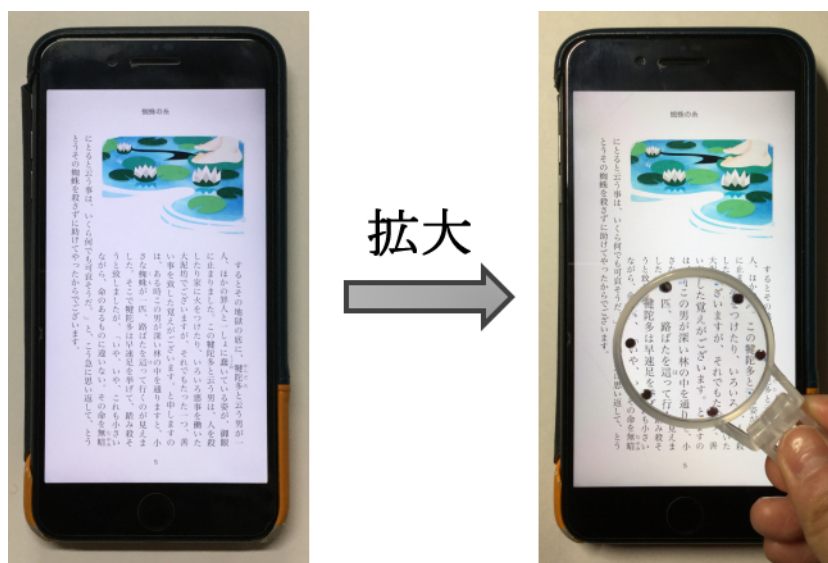


図 2.2: 拡大鏡を用いて拡大した様子



図 2.3: ウィンドウズームを用いて拡大した様子

2.2 実験1：再流動型表示における拡大時の黙読時間と読み心地の調査

前節では表示形式と拡大方法について整理し，黙読時間や読み心地について検討した．本節では，本当にスマートフォンのような小さな画面領域で拡大を行うと黙読時間や読み心地に影響があるかどうかを調査する．

2.2.1 実験概要

最初に，再流動型表示で拡大した際に1行の文字数が減少することに着目する．再流動型での拡大によって1行の文字数が減少すると，読書に必要な周辺情報が1行では足りず，黙読時間や読み心地に影響を与えると仮定する．この実験1では，被験者に再流動型で表示された1行の文字数が異なる文章を何種類か黙読してもらう．その際に黙読時間を計測し，また読了後に被験者に読み心地を主観評価してもらうことで，この仮定が正しいかどうかを調べる．

本実験の被験者は男性17名，女性11名の計28名の大学生・大学院生である．なお，この実験1を含めたすべての実験は，拡大による読み心地を調べることが目的である．よって老視などの視機能の低下による読みにくさは除外するため，老視ではなく視機能に問題のない大学生，大学院生を対象とした．また，黙読時に指で画面をタッチしながら操作してもらうため，タッチパネルの操作に慣れていることも条件とした．そして彼らが読みやすくないと感じるならば，操作に慣れておらずまた視機能が低下している老視者はなおのこと読みやすくないと判断できる．なお，全ての被験者から実験参加についての同意を確認している．

2.2.2 実験手順

実験開始から終了までの一連の流れを説明する．この実験では，被験者に画面に表示される1行の文字数が異なる文章を黙読してもらい，その後，読み心地を回答してもらう．そのため，被験者に文章とアンケートを黙読回数分だけ交互に表示する実験用のシステムを構築した．本実験のためのシステムはHTML，JavaScriptを用いて作成され，Windows 10のタブレット型ノートパソコンのブラウザ上で動作



図 2.4: 実験 1 開始時の表示

する。

1 実験開始前：被験者にはまず実験の目的と手順の説明し、その後実験システムを使う練習をしてから本実験を行う。

2 実験開始：最初に実験システムは、システムの使い方説明を表示する (図 2.4)。ここで、実験開始前の説明を復習する。なお本システムは被験者に小さな画面内で文章を読んでもらうため、文章表示域を iPhone 8 Plus の 5.5 インチと同じサイズに制限している。文章表示域外にある「次の文章へ」ボタンを押すと、文章表示の画面に遷移し、文章の黙読を開始してもらう。

3 文章黙読：最初の説明画面から遷移して、実験用の文章が表示される。そして同時に黙読時間の計測が開始する。表示される文章の 1 行の文字数は、再流動型での拡大後を想定し 12, 10, 8, 6, 4 文字の計 5 種類である。この 5 種類の文字数は、事前に行った予備実験で黙読時間に変化があった範囲から決定した。1 行の文字数ごとの画面表示は図 2.5 から図 2.9 のようになる。また、黙読用の文章は全 10 種類で、

著作権フリーの文章を選定した。例として、図 2.5 から図 2.9 の文章は、1945 年織田作之助作の「終戦前夜」の一部である [23]。表示する文章全体の文字数は、1 分前後で読めるように 600 ± 10 文字とする。この実験では被験者に、1 行の文字数が 12, 10, 8, 6, 4 文字の文章を 1 回ずつ、計 5 回黙読してもらう。そして結果の平均化のため、各回において表示される文章の 1 行の文字数は 5 種類の中からランダムに、また文章内容も事前に選定した 10 種類の中からランダムに決定される。また、1 度使用された文章と文字数は重複して使用されることはない。文章の最後まで読み進めると、《終：読了ボタンを押して下さい》の表示 (図 2.10) が現れる。文章の右側にある「読了」ボタンを推すと同時に、時間計測が終了しアンケートが表示される。被験者には事前の説明で、黙読中の注意事項を説明した。1 つ目に黙読中の心構えとして、ただ文字を目で追う行為を抑制するため、内容を理解できるように読んで欲しいと伝えた。そのため、被験者は必要があれば読み戻り等も自由に行ってよい。2 つ目に禁止事項として、黙読中に画面に顔をかなり近づけて読む行為 (顔と画面間の距離が 20cm 未満になる行為)、黙読途中で「読了」ボタンを押し時間計測を終了させる行為、黙読以外の行為をしないように伝えた。

4 アンケート回答：アンケート画面では、全 3 問のアンケートが表示される (図 2.11)。ここでは被験者に、先ほど黙読した文章の読み心地と、内容理解度を問う正誤問題に回答してもらう。最初の 1 問は、スマホ縦持ち平均文字数のうちの 1 種類である 19 文字と比較して、読みやすいか否かを 5 段階評価で採点してもらう。5 点は非常に読みやすい、4 点は読みやすい、3 点は 19 文字と同じ読みやすさ、2 点は読みやすすくない、1 点は非常に読みやすすくないを示す。なお、1 行 19 文字の文章はアンケート画面にサンプルとして表示しているため、そちらを比較に使用してもらう。このサンプルの文章は、実験には使用されていない著作権フリーの文章で、1955 年小山清作の「犬の生活」の一部である [24]。そして残りの 2 問では内容の理解度を問う。難易度としては、ある単語についての言及はあったか、いつの時期の話だったか、などである。この設問は、ただ文字を目で追うだけの行為を抑止するために設置している。被験者には事前に、正誤問題で正答率が低いと内容を理解せず文字を目で追っているだけと判断し、結果として採用しないと伝えた。全て答え終えたら「回答完

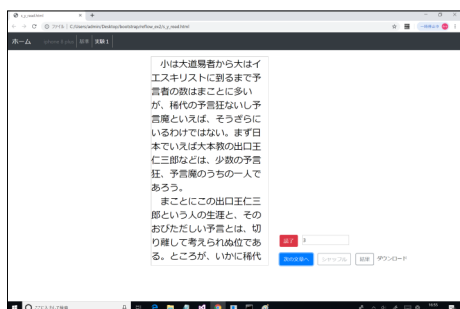


図 2.5: 1 行の文字数 12 文字

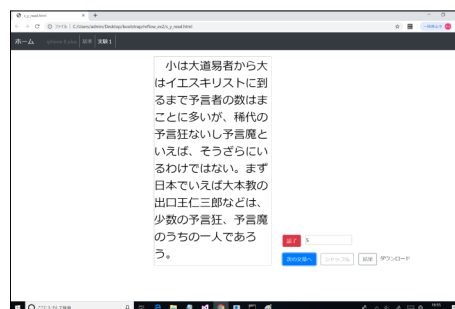


図 2.6: 1 行の文字数 10 文字

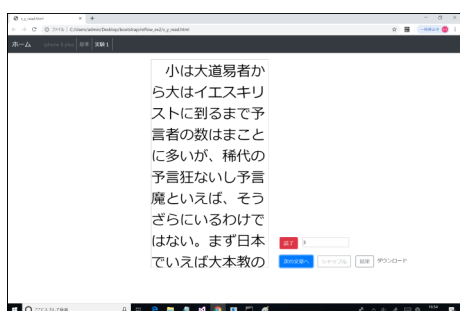


図 2.7: 1 行の文字数 8 文字

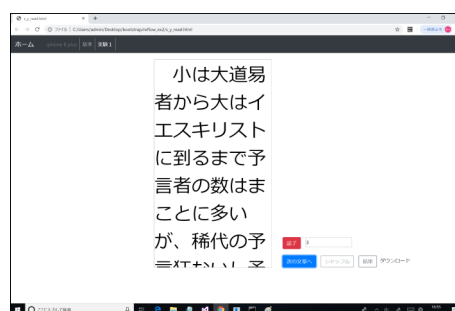


図 2.8: 1 行の文字数 6 文字



図 2.9: 1 行の文字数 4 文字

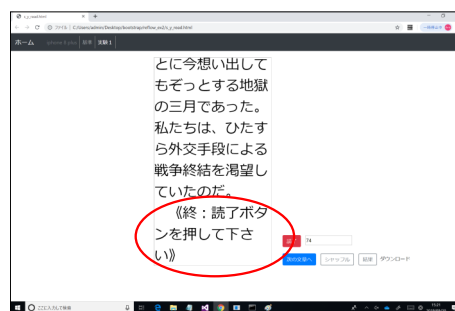


図 2.10: 読み終わり時の表示 (1 行の文字数 8 文字)

読了後アンケート

Q1: 19文字の時と比較して読みやすさはどうでしたか

☐ 5: 非常に読みやすい

1行19文字のサンプル文章

私はその犬を飼うことにした。「神様が私にあなたのもとへゆけと告げたのです。あなたに見放されたら、私は迷子に暮れて

Q2: 読んだ文章について2つの記述があります。合っているかどうかを教えてください

Q2-1: 筆者たちが期待していた日付は「昭和二十年の八月二十日」である

☐ はい ☐ いいえ

Q2-2: 王仁三郎旦那は衆人に向かって世界の大変動を予言した

☐ はい ☐ いいえ

図 2.11: アンケートの表示

了」ボタンを押してアンケート画面を閉じてもらう。そして、また「次の文章へ」ボタンを押すと文章黙読画面に移行し、新たな文章の黙読が始まる。

5 終了: 黙読 (手順3) とアンケート (手順4) を合計5回繰り返すと、実験は終了する。

2.2.3 実験結果

1 行の文字数ごとの黙読時間を図 2.12 に示す。横軸は 1 行の文字数、縦軸が黙読時間 (秒) を表す。図 2.12 中の箱ひげ図それぞれに引かれた線は中央値を示し、丸印 (○) は平均値を示す。箱ひげ図の外側にある丸印 (○) は外れ値として処理したデータである。更に各文字数ごとの黙読時間の平均に有意差があるかどうか検定をした。被験者が 30 人未満なので、ウィルコクソンの符号順位検定を行った。検定は各文字数総当たりで行ったが、図 2.12 には特に重要な有意差のみを載せる。図 2.12 に示す通り、1 行 10 文字と 8 文字、6 文字と 4 文字で $p < 0.05$ となり有意水準 5% で有意差があった。また 12 文字と 10 文字、8 文字と 6 文字間には有意な差はなかった。そのため、10 文字と 8 文字の間に黙読時間が変化する境界があると考えられる。しかし、12 文字と 8 文字では有意な差がなかった。そのため 12-10 文字を 1 つのグルー

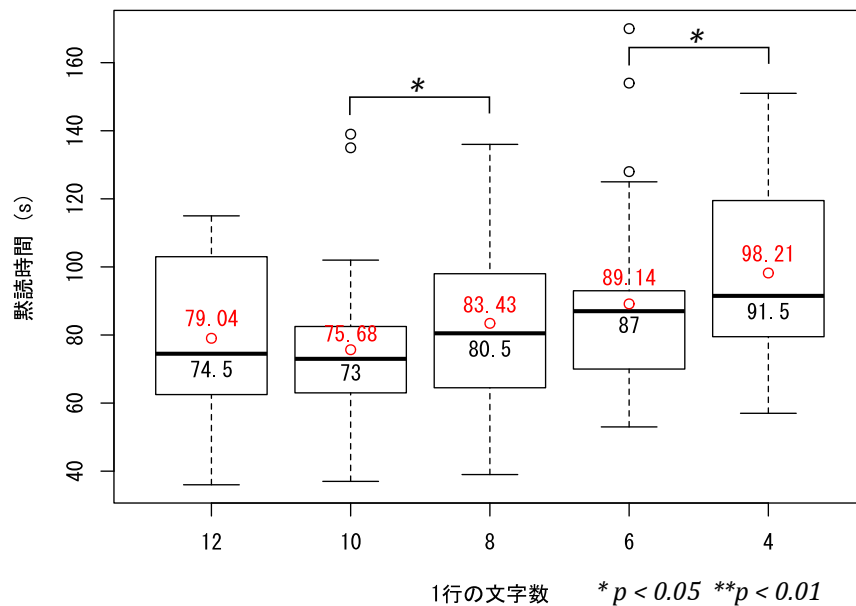


図 2.12: 文字数ごとの黙読時間 (各文字数ごとの有意差検定)

プ, 8-6 文字も 1 つのグループとしてまとめ, 差があるかどうかを追加で確認した. 各グループごとに被験者の黙読時間を平均し, 再びウィルコクソンの符号順位検定を行った. 結果を図 2.13 に示す. 12-10 文字, 8-6 文字, 4 文字の全てで $p < 0.01$ となり有意水準 1% で有意差があった.

また読み心地の評価結果を表 2.1 に示す. 表 2.1 の数値は, 被験者全員の点数を平均し, 小数点第 3 位を四捨五入して小数点第 2 位まで求めた値である. 点数は 5 点に近いほど読みやすい, 3 点は 19 文字と同じ読みやすさであることを, 1 点に近いほど読みやしくないことを示す. この結果に対して符号検定を行うと, 12 文字と 10 文字間に有意な差はなく, それ以外は全て $p < 0.05$ となり有意水準 5% で有意差があった.

表 2.1: 1 行の文字数ごとの読み心地の評価

1 行の文字数	12 文字	10 文字	8 文字	6 文字	4 文字
読み心地の評価	2.79	2.64	2.04	1.46	1.14

これらの結果から, 拡大により 1 行の文字数が減少すると黙読時間は増加し, 読

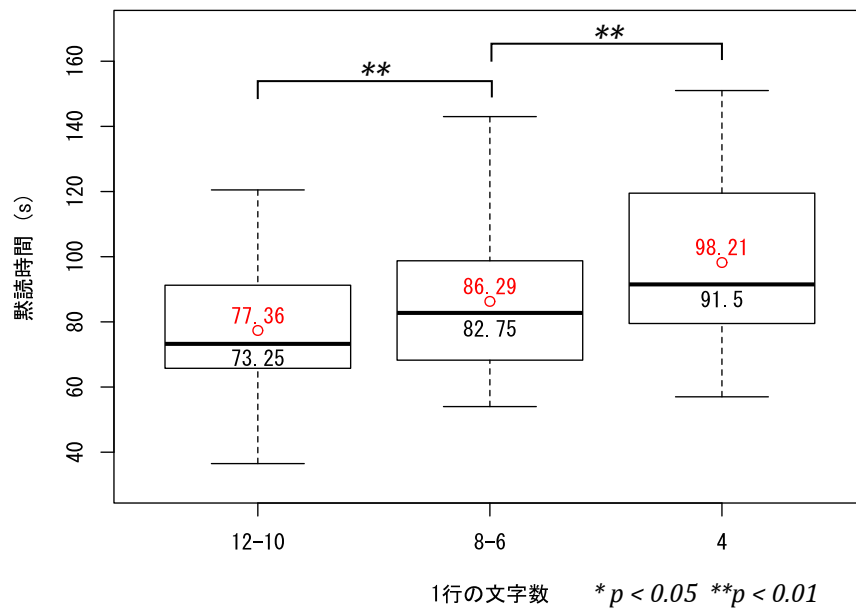


図 2.13: 文字数ごとの黙読時間 (グループごとの有意差検定)

みにくさを感じる事がわかる。それぞれの文字数ごとに詳しく見ると、1行4文字になると黙読時間が増加し、また主観として読みにくいと感じると言える。そして10文字以上と8文字以下で黙読時間と読み心地の評価に差がある。そして10文字以上は、3点の19文字と同等に近い結果である。そのため1行の文字数が10文字以上あれば、黙読時間、読み心地ともに拡大前と差が無いと結論付ける。逆に、1行の文字数が10文字未満になると、黙読時間が増加し、読みにくさを感じると結論付ける。

2.3 実験2: 固定レイアウト型表示における拡大時の黙読時間と読み心地

実験1の結果で、拡大後に1行10文字以上であれば黙読時間、読み心地ともに拡大前と同程度であることがわかった。これは文献[12]が示す、人が1回の停留で取得する周辺情報の範囲内である。実験2以降では再流動型以外の表示形式で、拡大により1行の文字数を変化させた場合の黙読時間や読み心地を調査する。なお、今回の実験では固定レイアウト型表示を用いるため、拡大後にフレームアウトする文

字がある．そのため，1行の文字数を，拡大後に画面内に表示されている文字数(以降，表示文字数)と，拡大後にフレームアウトして画面内に表示されない文字数(以降，非表示文字数)に分ける．そして実験1の結果をもとに，1行の表示文字数を10文字以上とする．

2.3.1 実験概要

固定レイアウト型表示で拡大した際に，各行の一部がフレームアウトし，スクロールをしなければ文章全体が読めないことに着目する．もちろん実験1の結果から，拡大によって一部がフレームアウトした際に，画面内に表示されている1行の表示文字数が10文字未満であれば黙読時間は増加し，読み心地は低下すると推測できる．それならば，フレームアウトした際に1行の表示文字数が10文字以上ならば，たとえスクロールが必要でも黙読時間や読み心地に変化はないと仮定する．この実験2では，被験者に固定レイアウト型で表示されており，横に何文字かフレームアウトしている文章を何種類か黙読してもらう．その際に黙読時間を計測し，また読了後に被験者に読み心地を主観評価してもらうことで，この仮説が正しいかどうか調べる．

本実験の被験者は男性10名，女性11名の計21名の，大学生・大学院生である．全員実験1と同様，視機能とタッチ操作に問題がない．また，全ての被験者から実験参加についての同意を確認している．

2.3.2 実験手順

実験開始から終了までの一連の流れを説明する．この実験では，被験者に1行の文字数が20文字で内容が異なる文章をいくつか黙読してもらう．そして，黙読する文章内容を変更するごとに，文章の表示域の横幅も変更する．すなわち，表示域が1行20文字の文章の横幅よりも狭くなると，各行の一部が非表示となるため，表示文字数は1行20文字よりも少なくなる．被験者には，文章全体を黙読してもらうため，非表示文字を見るために横スクロールをしながら黙読してもらい，その後，その読み心地を回答してもらう．そのため実験2でも，実験1同様被験者に文章とア

ンケートを黙読回数分だけ交互に表示する実験用のシステムを構築した。実験1と実験2の実験システムは、文章の表示形式のみ異なっており、それ以外は同じである。また、この実験2は実験3と同時に行った。

1 実験開始前：被験者にはまず実験の目的と手順の説明し、その後、図2.14と図2.15に示す2種類の実験画面のサンプルを見せる。被験者にはサンプルでスクロールの練習をしてもらいつつ、評価のための基準を決めてもらう。図2.14は、1行20文字の文章が全て表示されている。逆に図2.15は、1行20文字の文章のうち、表示域を狭めて半分の10文字が非表示である。このサンプルの文章は、実験には使用されていない著作権フリーの文章で、実験1のアンケート画面の文章と同じく、1955年小山清作の「犬の生活」の一部である[24]。この後の本実験で、非表示文字がなく、スクロールが必要ない表示は図2.14と同じ、最も非表示文字が多く、スクロールが必要な表示は図2.15と同じになる。この2種類を図2.14の場合は縦にスクロールしながら、図2.15の場合は縦と横にスクロールしながら黙読してもらい、今回の評価の中で、非常に読みやすい(5点)のはどちらか、非常に読みやしくない(1点)のはどちらかを、被験者に定めてもらう。

2 実験開始：図2.16は、システムの最初の画面である。文章表示域外にある「次の文章へ」ボタンを押すと、文章表示の画面に遷移し、文章の黙読を開始してもらう。

3 文章黙読：最初の画面から遷移して、実験用の文章が表示される。そして同時に黙読時間の計測が開始する。1行が20文字の文章が固定レイアウト型で表示されるため、表示域が狭まると図2.18から図2.20のように20文字中何文字かが非表示となる。本実験で用いる非表示文字数は0, 2, 5, 10文字の計4種類であり、それに伴って表示文字数は、20, 18, 15, 10文字である。4種類それぞれの画面表示は図2.17から図2.20のようになる。この4種類の非表示文字数は、事前に行った予備実験で黙読時間に変化があった範囲から決定した。そして例えば20文字中10文字が非表示(図2.20)で横スクロールをすると、図2.21のように、非表示文字が読める。

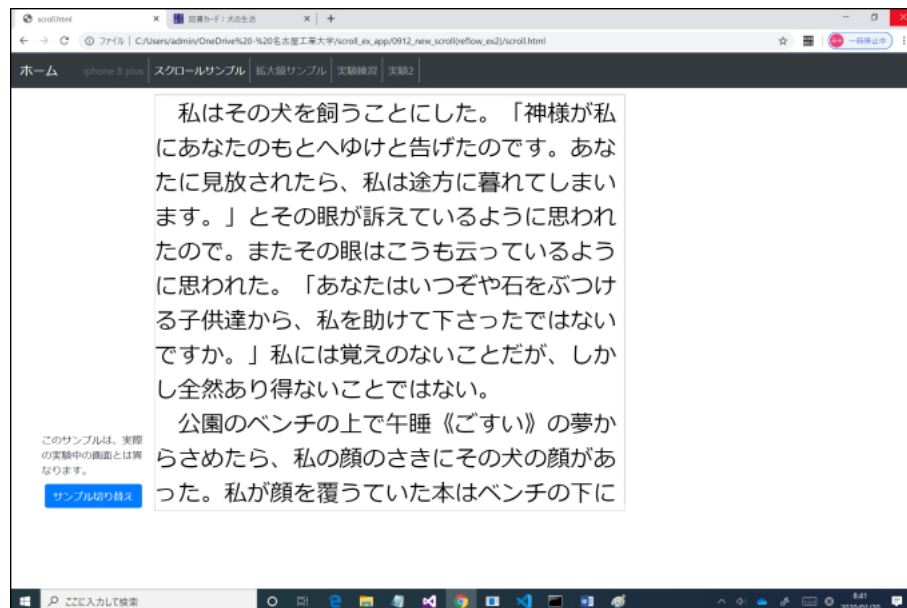


図 2.14: 実験画面のサンプル (表示文字数 20 文字)

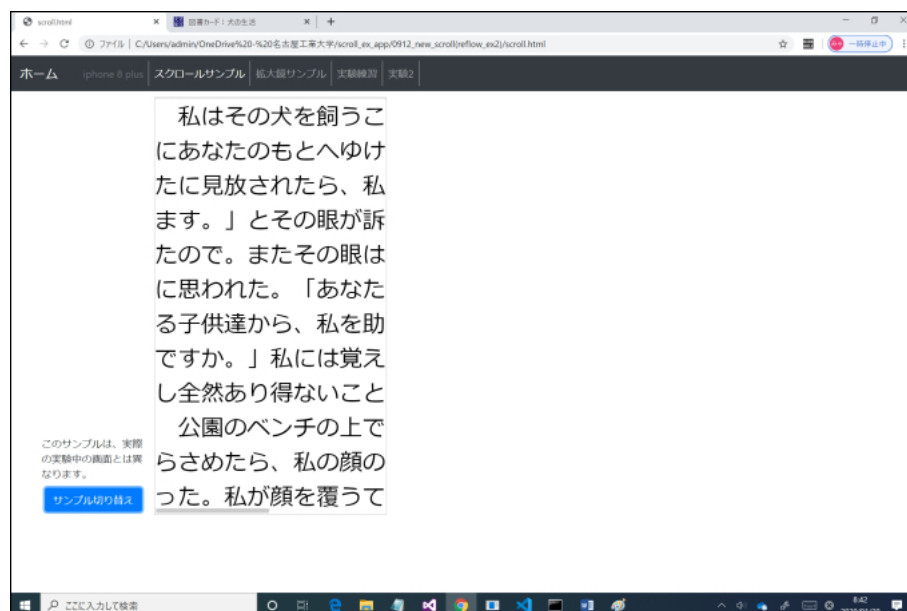


図 2.15: 実験画面のサンプル (表示文字数 10 文字, 非表示文字数 10 文字)

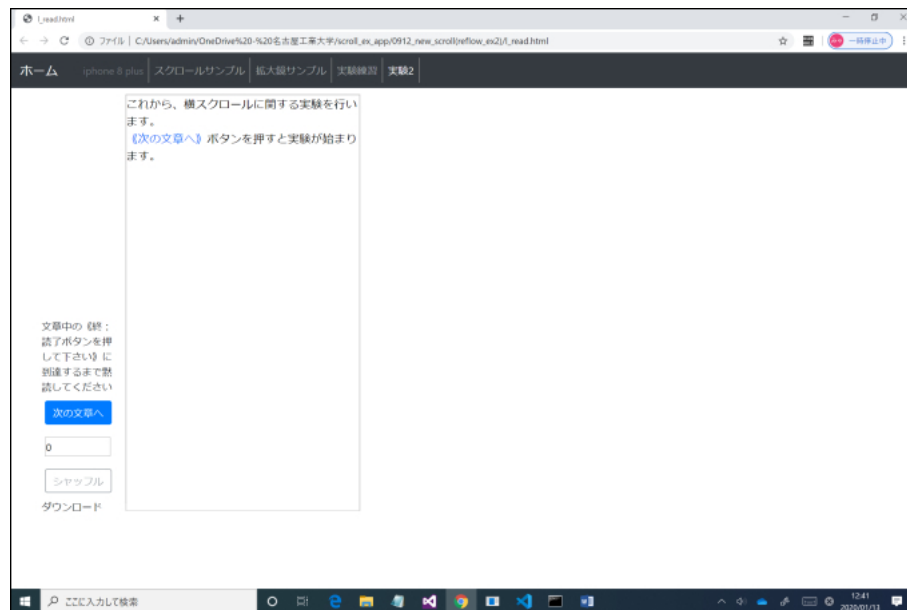


図 2.16: 実験 2 開始時の表示

今回は文字サイズの違いによる読み心地の変化を除外するため、文字サイズを不変にして、表示領域を変化させる。そのため、表示領域はスマートフォンの横幅よりも大きくなるが、視野から大きく外れる横幅ではないため読み心地に影響は与えないと考えられる。また、黙読用の文章は全 12 種類で、著作権フリーの文章を選定した。例として、図 2.17 から図 2.22 の文章は、桐生悠々著の「言いたい事と言わねばならない事と」の一部である [25]。表示する文章全体の文字数は、実験時間の短縮化のため、30 秒前後で読めるように 300 ± 10 文字とする。そしてこの文章は実験 3 でも使用される。この実験では被験者に、表示域が狭まり 1 行 20 文字中 0, 2, 5, 10 文字が非表示となる文章を 1 回ずつ、計 4 回黙読してもらう。そして結果の平均化のため、各回において非表示文字数は 4 種類の中からランダムに、また文章内容も事前に選定した 12 種類の中からランダムに決定される。また、1 度使用された文章と非表示文字数は、後の実験 3 も含めて重複して使用されることはない。文章の最後まで読み進めると、「終：読了ボタンを押して下さい」の表示 (図 2.22) が現れる。文章の右側にある「読了」ボタンを推すと同時に、時間計測が終了しアンケートが表示される。なお、被験者には事前の説明で、実験 1 と同様の黙読中の注意事項を説明した (詳細は 2.2.2 節の「3 文章黙読」を参照)。

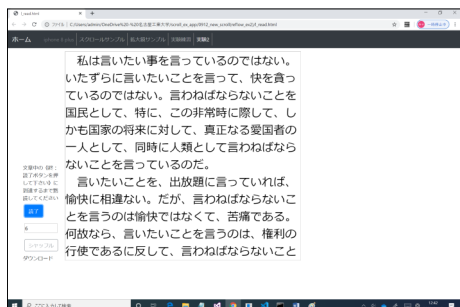


図 2.17: 非表示文字数 0 文字

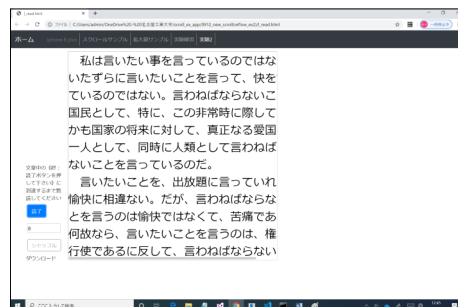


図 2.18: 非表示文字数 2 文字

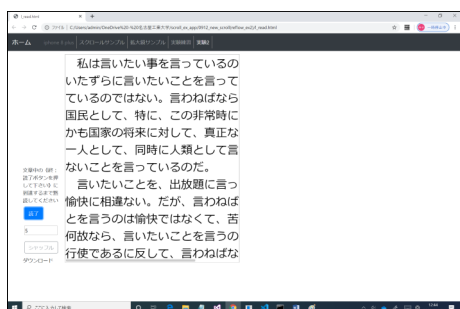


図 2.19: 非表示文字数 5 文字

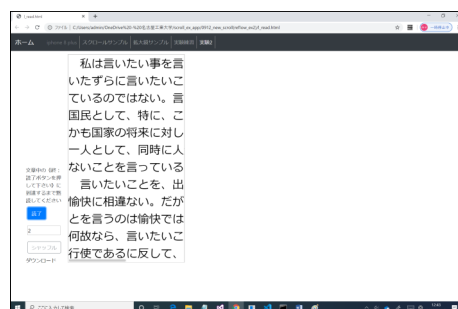


図 2.20: 非表示文字数 10 文字

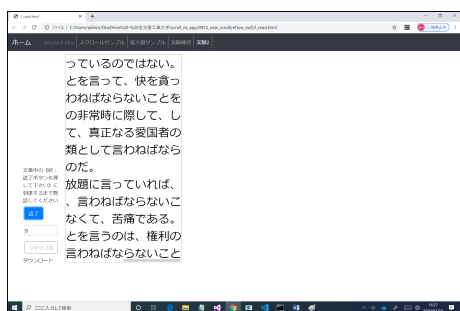


図 2.21: 横スクロール後 (非表示文字数 10 文字)

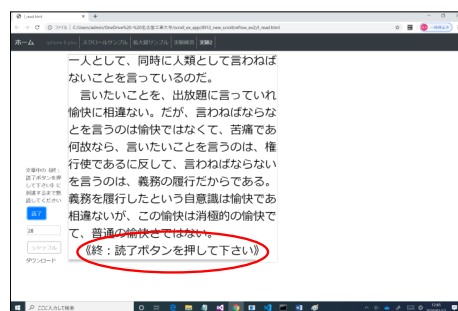


図 2.22: 読み終わりの表示 (非表示文字数 2 文字)

読了後アンケート

Q1: 文章を読んでいる際、どの程度読みにくと感じましたか
5: 非常に読みやすい

Q2: 読んだ文章について2つの記述があります。合っているかどうかを教えてください

Q2-1: 筆者は、言いたいことをいわずに言っている
☐ はい ☐ いいえ

Q2-2: 言わねばならないことを言うのは義務の履行である
☐ はい ☐ いいえ

回答完了

図 2.23: アンケートの表示

4 アンケート回答: アンケート画面では、全3問のアンケートが表示される(図2.23)。実験1同様被験者に、先ほど黙読した文章の読み心地と、内容理解度を問う正誤問題に回答してもらう。最初の1問は、事前に見せた評価基準(図2.14, 図2.15)をもとにして、読みやすいか否かを5段階評価で採点してもらう。5点は非常に読みやすい、4点は読みやすい、3点はどちらとも言えない、2点は読みやしくない、1点は非常に読みやしくないを示す。そして残りの2問では内容の理解度を問う(詳細は2.2.2節の「4 アンケート回答」を参照)。全て答え終えたら「回答完了」ボタンを押してアンケート画面を閉じてもらう。そして、また「次の文章へ」ボタンを押すと文章黙読画面に移行し、新たな文章の黙読が始まる。

5 終了: 黙読(手順3)とアンケート(手順4)を合計4回繰り返すと、実験2は終了する。(続いて実験3を開始する。)

2.3.3 実験結果

非表示文字数ごとの黙読時間を図 2.24 に示す。横軸は非表示文字数、縦軸が黙読時間(秒)を表す。図 2.24 中の箱ひげ図それぞれに引かれた線は中央値を示し、丸印(○)は平均値を示す。箱ひげ図の外側にある丸印(○)は外れ値として処理したデータである。更に各非表示文字数ごとの黙読時間の平均に有意差があるかどうか検定をした。被験者が30人未満なので、ウィルコクソンの符号順位検定を行った。検定は各文字数総当たりで行い、図 2.24 のように有意差があった。図 2.24 に示す通り、非表示文字数が0文字と5文字、10文字は有意水準1%で有意差があった。また、2文字は10文字とだけ有意水準1%で有意差があった。しかし、0文字と2文字、2文字と5文字間には有意な差がなかった。0文字と5文字では有意な差があるため、非表示文字数が0、2、5文字間のどこかに黙読時間に変化する境界があると考えられる。そこで、横スクロールが必要かどうかでグループ分けを行うことにした。2文字と5文字を1つのグループとしてまとめ、差があるかどうかを追加で確認した。2-5文字のグループは被験者の黙読時間を平均し、再びウィルコクソンの符号順位検定を行った。結果を図 2.25 に示す。0文字と2-5文字で $p < 0.05$ となり有意水準5%で有意差があった。また、2-5文字と10文字間でも有意水準1%で有意差があった。

また読み心地の評価結果を表 2.2 に示す。表 2.2 の数値は、被験者全員の点数を平均し、小数点第3位を四捨五入して小数点第2位まで求めた値である。点数は5点に近いほど非常に読みやすいことを、1点に近いほど非常に読みやしくないことを示す。この結果に対して符号検定を行うと、2文字と5文字は $p < 0.05$ となり有意水準5%で有意差があり、それ以外は全て $p < 0.01$ となり有意水準1%で有意差があった。

表 2.2: 非表示文字数ごとの読みやすさの評価

非表示文字数	0文字	2文字	5文字	10文字
読み心地の評価	4.43	2.95	2.38	1.43

これらの結果から、1行の表示文字数が実験1から見出された10文字以上であっても、拡大により表示文字数の一部がフレームアウトして横スクロールが必要にな

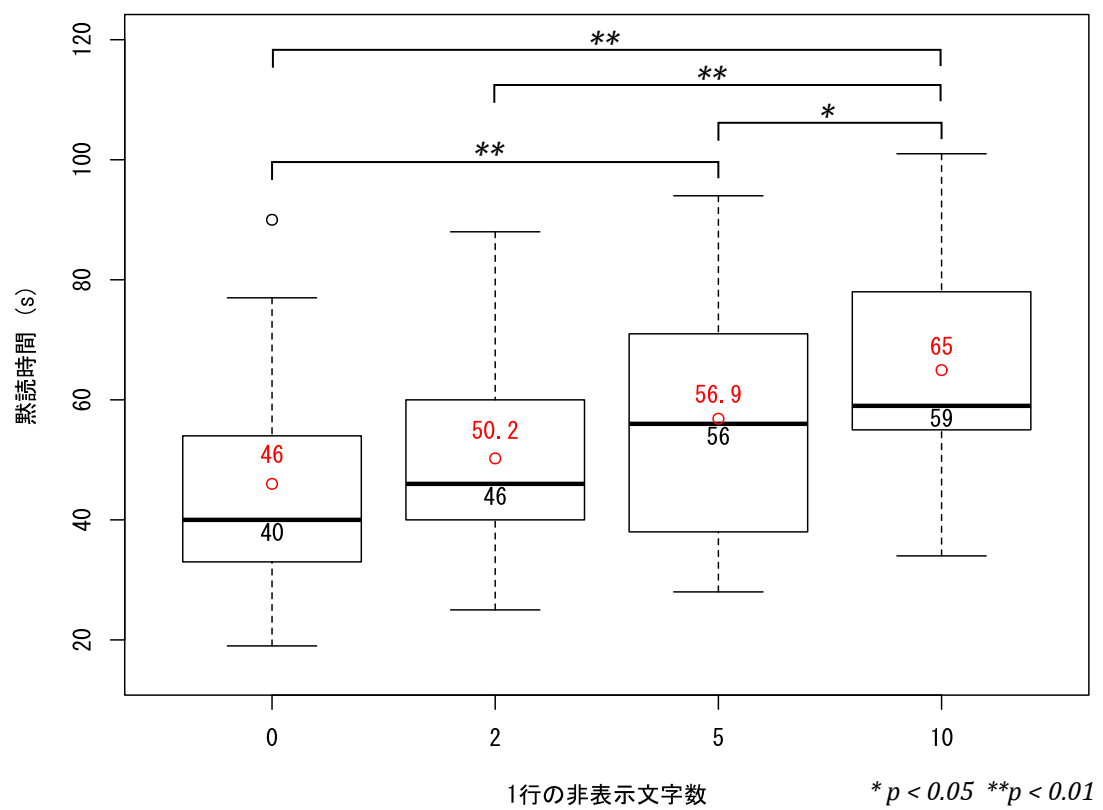


図 2.24: 非表示文字数ごとの黙読時間 (各文字数ごとでの有意差検定)

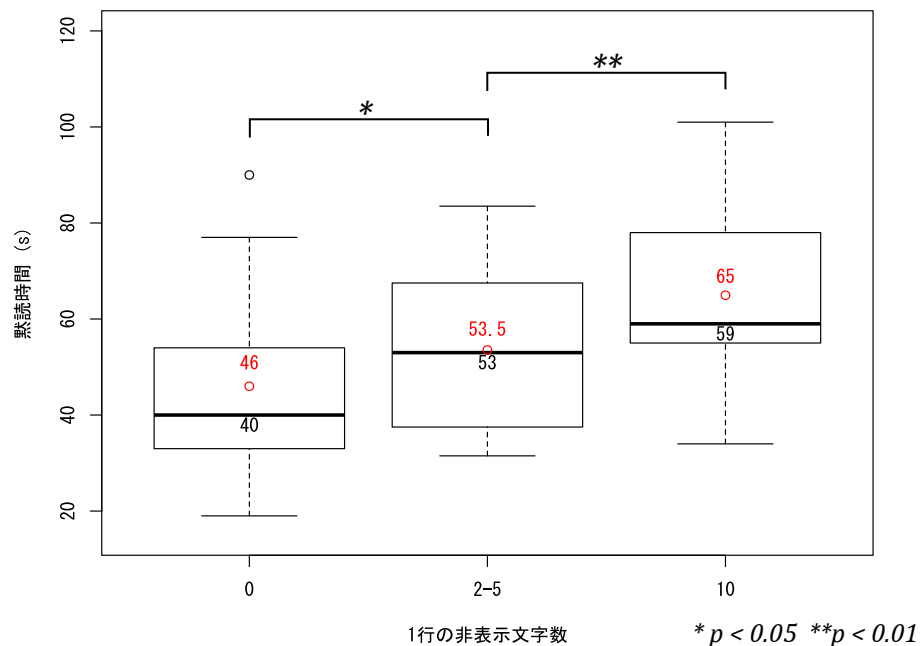


図 2.25: 非表示文字数ごとの黙読時間 (グループごとの有意差検定)

ると、黙読時間は増加して読みにくさを感じる事がわかる。それぞれの非表示文字数ごとに詳しく見ると、5文字以上非表示になる場合は、全て表示されている場合に比べて黙読時間に差があり、主観評価も平均して読みやしくないと感じる。このことから、非表示文字数が5文字以上になると横スクロールによって手間を感じると考えられる。非表示文字数が2から5文字の場合は、非表示文字数が5文字以上の場合よりは黙読時間をかけずにすむが、全て表示されている場合と比べて黙読時間がかかる。また、読み心地もはみ出していない場合より低下するため、数文字程度の横スクロールも手間と感じると言える。よって、1行の表示文字数が適切に与えられていても、非表示文字数が2文字よりも多くなり横スクロールが必要になると、黙読時間は増加し、読みにくさを感じると結論付ける。

2.4 実験3：拡大鏡使用時の黙読時間と読み心地

実験3も、実験2同様実験1の結果をもとに、拡大鏡を使用した場合の黙読時間や読み心地に影響があるかどうかを調査する。なお、今回の実験では拡大鏡を用い

るため、拡大鏡によって拡大表示されている文字数を拡大表示文字数とする。そして実験1の結果をもとに、1行の拡大表示文字数を10文字以上とする。

2.4.1 実験概要

拡大鏡を使用した際の、拡大領域と通常領域を結ぶ領域の消失について着目する。ただし、拡大鏡を通した際に、拡大表示文字数が1行10文字未満であれば、実験1の結果から黙読時間は増加し、読み心地は低下すると推測できる。そこで、拡大表示文字数を1行10文字以上とすれば、拡大鏡を通して黙読時間や読み心地に変化はないと仮定する。この実験3では、被験者に拡大鏡を通して文章を黙読してもらう。その際に黙読時間を計測し、また読了後に被験者に読み心地を主観評価してもらうことで、この仮説が正しいかどうか調べる。

本実験の被験者は男性10名、女性11名の計21名の、大学生・大学院生である。全員実験1と同様、視機能に問題がない。また、今回はWindowsの拡大鏡アプリをマウスで操作してもらうため、マウス操作に問題が無いことも被験者の条件とした。

2.4.2 実験手順

実験開始から終了までの一連の流れを説明する。この実験では、最初に被験者に画面に表示される文章をそのまま黙読してもらい、その後、読み心地を回答してもらう。そして次に被験者には画面に表示される文章を拡大鏡を通した状態で黙読してもらい、同様に読み心地を回答してもらう。なお、実験3は実験2と同時にを行った。

1 実験開始前：被験者には実験2の説明時に、合わせて実験3の目的と手順の説明をする。

2 実験開始：図2.26は、実験2が終了し実験3が開始する前の画面である。文章表示域はiPhone 8 Plusの5.5インチと同じサイズに制限している。文章表示域外にある「次の文章へ」ボタンを押すと、文章表示の画面に遷移し、文章の黙読を開始し



図 2.26: 実験 3 開始時の表示

てもらう。

3 文章黙読 (拡大鏡無し) : 実験 3 へ移行する直前の画面から遷移して、図 2.27 のように、1 行の文字数が 20 文字の実験用文章が表示される。そして同時に黙読時間の計測が開始する。被験者にはこの文章を拡大鏡無しで黙読してもらう。ここでの黙読は、後の拡大鏡有りで黙読した場合の評価基準になる。黙読用の文章は全 12 種類で、著作権フリーの文章を選定した。例として、図 2.27 の文章は、1949 年宮本百合子著の「「委員会」のうつりかわり」の一部である [26]。表示する文章全体の文字数は、実験 2 同様 300 ± 10 文字とする。結果の平均化のため、文章内容は事前に選定した 12 種類の中からランダムに決定される。また、実験 2 で 1 度使用された文章は、重複して使用されることはない。文章の最後に《終：読了ボタンを押して下さい》の表示がある。文章の右側にある「読了」ボタンを推すと同時に、時間計測が終了しアンケートが表示される。なお、被験者には事前の説明で、実験 1 と同様の黙読中の注意事項を説明した (詳細は 2.2.2 節の「3 文章黙読」を参照)。

4 アンケート回答 (拡大鏡無し読了後) : アンケート画面では、全 3 問のアンケートが



図 2.27: 1 行 20 文字の文章 (拡大鏡無し)

表示される (図 2.28). 実験 1 同様被験者に、先ほど黙読した文章の読み心地と、内容理解度を問う正誤問題に回答してもらう。しかし、1 問目は最初行った拡大鏡無しでの黙読を評価基準にするため、読みやすさの回答は省略し、一律 3 点とする。そして残りの 2 問では内容の理解度を問う (詳細は 2.2.2 節の「4 アンケート回答」を参照)。全て答え終わったら「回答完了」ボタンを押してアンケート画面を閉じてもらう。そして、また「次の文章へ」ボタンを押すと文章黙読画面に移行し、新たな文章の黙読が始まる。

5 文章黙読 (拡大鏡有り): 手順 3 と同様、図 2.27 のように、1 行の文字数が 20 文字の実験用文章が表示される。ここで、Windows の拡大鏡アプリを起動させる。拡大鏡を起動させる時間は計測に含めないため、ここでは手動で黙読時間の計測を行った。図 2.29 は、拡大鏡を使用した文章黙読の様子である。拡大鏡の拡大率は 200% であり、拡大鏡の横幅は拡大表示文字数が 10 文字以上となる幅に設定した。被験者は、拡大鏡を通して文章を黙読してもらう。その他文章の選定方法、黙読時の注意、黙読終了時の処理は手順 3 同様である。

読了後アンケート

Q1: 文章を読んでいる際、どの程度読みにくく感じましたか
5: 非常に読みやすい

Q2: 読んだ文章について2つの記述があります。合っているかどうかを教えてください

Q2-1: 筆者は、言いたいことをいわずらに言っている
☐ はい ☐ いいえ

Q2-2: 言わねばならないことを言うのは義務の履行である
☐ はい ☐ いいえ

回答完了

図 2.28: アンケートの表示



図 2.29: 1 行 20 文字の文章 (拡大鏡有り)

6 アンケート回答 (拡大鏡有り読了後) : 手順 4 と同様, 全 3 問のアンケートが表示される (図 2.28). 1 問目の読みやすさの回答は, 手順 3 の拡大鏡無しの場合を 3 点として主観評価してもらう. 5 点に近づくほど非常に読みやすいことを, 1 点に近づくほど非常に読みやしくないことを示す. 残り 2 問は手順 3 同様である. 全て答え終わったら「回答完了」ボタンを押してアンケート画面を閉じてもらう.

7 終了 : 手順 6 でアンケート画面を閉じると, 実験は終了する.

2.4.3 実験結果

拡大鏡の有無ごとの黙読時間を図 2.30 に示す. 横軸は拡大鏡の有無, 縦軸が黙読時間 (秒) を表す. 図 2.30 中の箱ひげ図それぞれに引かれた線は中央値を示し, 丸印 (○) は平均値を示す. 箱ひげ図の外側にある丸印 (○) は外れ値として処理したデータである. 更に拡大鏡の有無ごとの平均に有意差があるかどうか検定をした. 被験者が 30 人未満なので, ウィルコクソンの符号順位検定を行った. 結果は, 図 2.30 に示す通り, 拡大鏡が有る場合と無い場合の黙読時間は $p < 0.01$ となり有意水準 1% で有意差があった.

また読み心地の評価結果を表 2.3 に示す. 表 2.3 の数値は, 被験者全員の点数を平均し, 小数点第 3 位を四捨五入して小数点第 2 位まで求めた値である. この結果に対して符号検定を行うと, 拡大鏡が有る場合と無い場合の読み心地は $p < 0.01$ となり有意水準 1% で有意差があった.

表 2.3: 拡大鏡使用時の読みやすさの評価

拡大鏡	未使用	使用
読み心地の評価	(一律)3	1.81

これらの結果から, 拡大表示文字数が 10 文字以上だとしても, 拡大鏡を使用すると黙読時間は増加し, 読みにくさを感じる事がわかる. 被験者の数名から, 動かし続けている間に文章のどこを見ているのかわからなくなるというコメントをいただいた. 特に, 次の行に移動する際によく感じたとのことである. ここから, 拡大鏡によって周辺を切り取られたような拡大をすると, 文章全体のうちのどこを見ている

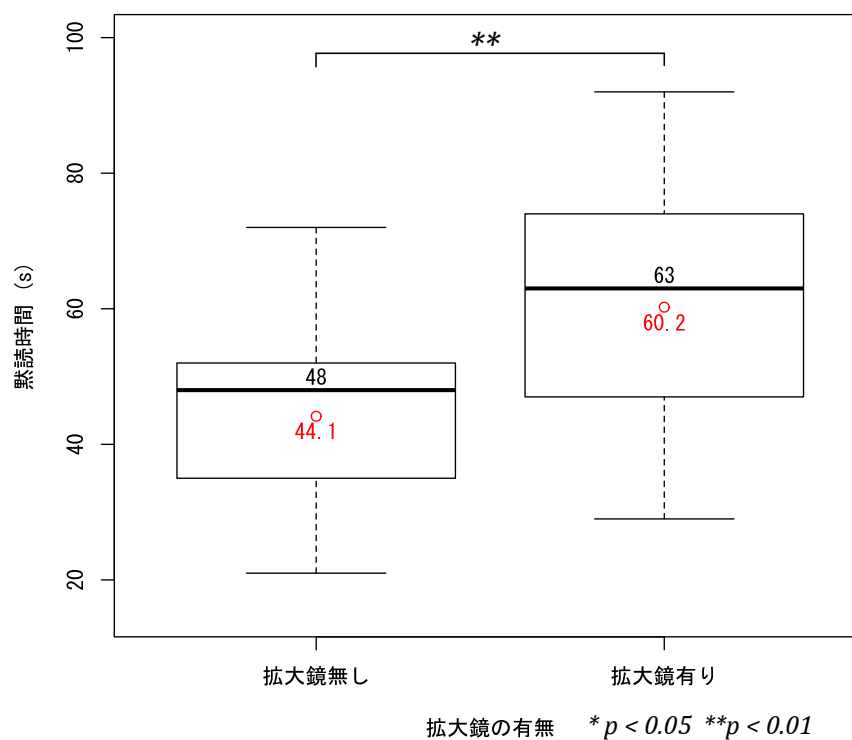


図 2.30: 拡大鏡使用時の黙読時間と有意差検定

のか見失うことがわかる。よって1行の拡大表示文字数が適切に与えられていても、拡大鏡のように拡大領域の周辺が失われると、黙読時間が増加し、読みにくさを感じると結論付ける。

第3章 周辺情報がフレームアウトしない部分ズーム手法

2.2 節から 2.4 節の実験によって、スマートフォンのような小さな画面で拡大をした場合に、どの拡大方法を使っても黙読時間が増加し、読み心地は低下することがわかった。そのため、この問題を解決し老視者にとって手間のかからない拡大方法を考える。また、1 章で述べた人の読書時における情報収集の特性も考慮して、老視者が表示を拡大しながら快適に黙読できる拡大手法を提案する。

本章では、最初に 2.2 節から 2.4 節の実験と 1 章で述べた人の読書時における情報収集の特性から、老視者が主に文章を読む際に拡大しても読みやすいと感じるような部分ズーム手法を提案する。そして次に、テキストデータとして構成される文章に対して部分ズーム手法を用いて実験システムを構築する。実験システムでは、指で指示したところを注視点として、そこを中心に部分的に拡大する。加えて、スマートフォンで Web サイトや PDF ファイルを閲覧する際には文章だけでなく画像もあるため、画像にも部分ズーム手法を適応させて、文章と画像を統合した場合の実験システムも構築する。

3.1 人の読書時における情報収集の特性をもとにした提案手法

最初に、2.2 節から 2.4 節の実験結果を整理する。実験から、スマートフォンのような小さな画面領域で拡大を行うと、黙読時間は増加し、読み心地は低下することが確認できた。下記に示すそれぞれの実験結果をもとに、具体的に、黙読時間が増加せず、読み心地が低下しない条件を整理する。

実験 1 結果：再流動型拡大で拡大後に 1 行の文字数が 10 文字を下回ると黙読時間が増加し、読み心地が低下する

実験2 結果：固定レイアウト型表示で拡大後に画面の表示域から3文字以上はみ出して横スクロールが必要になると黙読時間が増加し、読み心地が低下する

実験3 結果：拡大鏡を使用して拡大し、拡大領域近傍が画面表示から消失すると黙読時間が増加し、読み心地が低下する

これらの結果から黙読時間が増加せず、読み心地が低下しない拡大の条件は、1行の表示文字数が10文字以上であり、拡大によって横スクロールしないことである。更に拡大鏡のように部分的に拡大する際には、拡大領域と通常表示領域が連続している必要がある。

次に、1章で述べた人の読書時の特性を整理する。人は読書時に短時間における視線の停止(停留)と素早い視線移動(サックード)を繰り返し、停留時に注視点を中心として情報を収集している。神部の研究[12]によると、停留時に取得する情報は日本語で、9から12文字の範囲と言われている。そして、前もって情報を得ている9から12文字程度の範囲から、3から5文字ほどの位置で次の注視点を選び、実際に注視点の移動を行い、重複して情報を収集する(図1.2)。そして、この注視点周辺における事前の情報収集を妨げると、視線移動距離が短くなり、停留回数が増加する[12][13]。つまり、黙読に時間がかかる。逆に、周辺情報が収集できると黙読時間は早くなる。加えて、周辺情報を得ることによって人は手間のかからない黙読ができるのではないかと考えられる。例えば、先に与えられた語や文章はこれから読まれる語や文章の認知に役立つ[14]。そのため、小さくて読めない文字があったとしても、周辺の情報から当該文字を推測できることが期待される。ところで文字は、注視点から離れた位置にあるほど正しい形で認識されなくなる[17]。また、表音文字で構成された単語は、最初と最後以外の中身の文字が入れ替わっていても問題なく読める(図1.3)という現象もある[18][19]。これらのことから、周辺情報が多少不明瞭でも、概形や文意から経験的に推測することができるため、読書時に有効だと考えられる。

ところで、再流動型表示、固定レイアウト型表示は、iPadなど画面サイズがスマートフォンよりも大きい場合は、拡大しても1行の表示文字数が10文字を下回らない。また、拡大鏡も見たい画面全てが拡大鏡内に入るような大きさであれば、行全体を

拡大することができる。つまり、タブレットなどの大きな画面で拡大させる場合はどの拡大も1行の表示文字数は10文字以上確保できると考えられる。加えて、拡大方法によっては横スクロールが必要になるが、画面が大きいため頻繁に行わなくてよい。そのため、読み心地はさほど低下しないと考えられる。逆に、再流動型表示での拡大は、2.2節で行った実験1のようにスマートフォン上で大幅に拡大させる、あるいはフィーチャーフォンのようなスマートフォンよりも小さい画面で拡大させる場合は、1行の表示文字数が10文字を下回る。これは固定レイアウト型表示でも同様である。つまり、スマートフォンの中でも小型な画面、あるいはフィーチャーフォンなどの小さな画面では、拡大後に読み心地が低下すると言える。また、小さい拡大鏡を使用している際にも、拡大表示文字数が10文字を下回るため、読み心地が低下すると言える。しかし、再流動型表示では、それ以外の、小さい中でもある程度の大きさの画面の場合は、拡大しても非表示文字が無く、また1行の(表示)文字数が10文字を下回ることではない。そのため、再流動型表示での拡大は、読み心地が低下しない条件を満たす。つまり、再流動型の表示が可能であれば、老視者は拡大後も黙読時間がかからず読みやすい。しかし、PDFファイルなど再流動型表示に対応していない文章には、レイアウトを再編する拡大は使えない。この場合は、固定レイアウト型表示で全体を拡大する、あるいは拡大鏡を使用して一部分を拡大する。しかし、固定レイアウト型表示では、スマートフォンの画面サイズでわずかに拡大しただけでも文章の一部がフレームアウトし、スクロールが必要になる。また拡大鏡を使用した場合も、拡大領域と通常表示が連続しておらず、拡大領域近傍が消失している。つまり、固定レイアウト型表示での拡大と、拡大鏡を使用した拡大は、最初に挙げた黙読時間が増加せず、読み心地が低下しない拡大の条件に当てはまらない。そのため、これらの拡大を改善し、再流動型表示に対応していない場合も、黙読時間が増加せず、読み心地の良い拡大方法を提案する。

これらのことから、スマートフォンのような小さな画面で表示を拡大する際に、通常の拡大ではフレームアウトされる周辺情報を、あえて縮小して残すような部分ズーム手法を考える。具体的には、文章中の注目している単語を拡大させる場合、周辺の拡大率を拡大箇所から遠ざかるほど徐々に下げて縮小する手法を考える。すなわち、注視点とその近傍は拡大されるが、その分注視点より離れた周辺情報が縮小さ

れるためフレームアウトしない。拡大によって発生するスクロール操作や周辺情報収集の手間を無くし、かつ老視者が読みやすいと感じられる部分ズームになると考えられる。また部分的に拡大する範囲は、注視点から受容できる周辺情報の範囲をもとに設定する。

部分ズーム手法の概要を、画面上の位置 (1次元) と、その拡大率の関係を表すグラフ (図 3.1) で説明する。グラフの横軸 x は画面上の水平方向の位置で、 w は画面幅、 a は注視点である。縦軸 r は拡大率を表し、 r_{max} は最大拡大率を表す。図 3.1(a) は拡大前の通常表示の、図 3.1(d) は提案手法での拡大後の、画面上の位置とその拡大率の関係をそれぞれ表している。2章で述べた固定レイアウト型表示もしくは再流動型表示での拡大 (図 3.1(b)), 拡大鏡使用時 (図 3.1(c)) についても、比較のため同様のグラフを載せる。図 3.1(a) から図 3.1(d) の塗りつぶされた面積は全て同じ大きさである。固定レイアウト型での拡大は、注視点付近が拡大される代わりに、注視点の遠方がフレームアウトして表示されなくなる (図 3.1(b))。再流動型での拡大は、レイアウトが再編されるため、元々画面上に表示されていた文字は、今の位置から違う行や違うページに移動してしまう (図 3.1(b))。拡大鏡使用時は、注視点を中心とした拡大領域の近傍が表示されなくなる (図 3.1(c))。提案手法では、拡大率は連続的に変化している。注視点に近いほど拡大率は高いため、注視点の周辺情報は見やすくなる。また注視点から遠ざかるほど、拡大率は 1.0 を下回り縮小されるため、最初に表示されていた部分がフレームアウトしない (図 3.1(d))。

3.2 文章の部分ズーム手法

3.1節で述べた提案手法を用いて、文章を部分ズームする実験システムを構築する。図 3.1(d) では、拡大率を連続的に変化させた。しかし文章にそのまま適用すると文字が変形し、文字自体の認識が困難になる。そのため、拡大率を図 3.1 のように画面上の座標に合わせて連続的に変化させるのではなく、拡大率を文字位置ごとに連続的に決定する。なお文字位置は、日本語の読み方向から、左端の文字を起点として何文字目かで表す。また、今回は簡単化のため、1文字の文字幅が等しい等幅フォントを用いて考える。

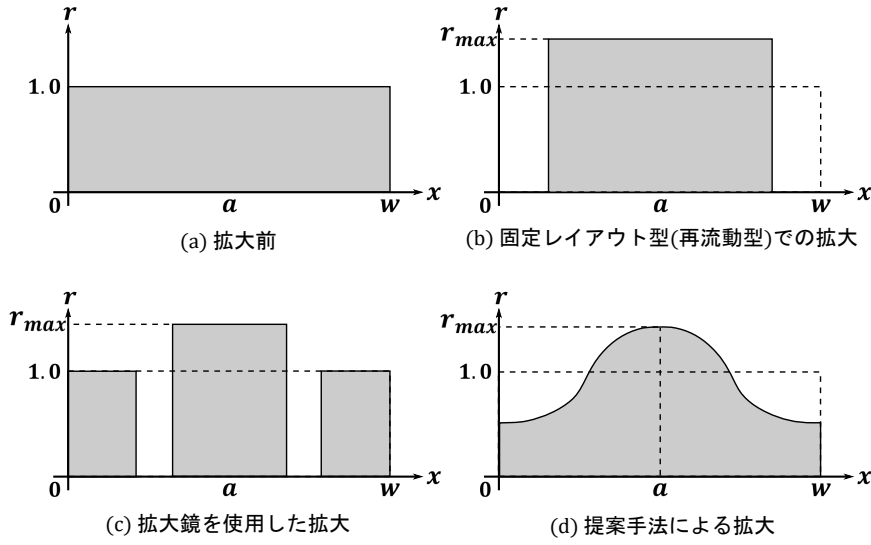


図 3.1: 各拡大方法の画面上の位置とその拡大率の関係：(a) 拡大前，(b) 固定レイアウト型 (再流動型) での拡大，(c) 拡大鏡を使用した拡大，(d) 提案手法による拡大

1 行 n 文字の文章中のある行を部分ズームをする場合を考える．文字位置を x とし、注視点が $x = a$ の位置にある場合の、それより前方 (日本語の場合は注視点より右側)、つまり次に読む文字の文字位置 x の拡大率 $R(x)$ を式 3.1 のように定義する．

$$R(x) = \begin{cases} r_{max} & (a \leq x \leq a + A_1) \\ r_{max} - \frac{r_{max} - 1.0}{A_2}(x - (a + A_1)) & (a + A_1 < x \leq a + A_1 + A_2) \\ r_{min} & (x > a + A_1 + A_2) \end{cases} \quad (3.1)$$

式 3.1 の $A_1 + A_2$ は、注視点 a から何文字目まで拡大するか、つまり拡大する範囲を表す． A_1 は今の注視点から数えて、次の注視点となる可能性が高い範囲を表す．そのため、 $a \leq x \leq a + A_1$ の範囲は、最大拡大率 r_{max} で拡大する．そして $A_1 + A_2$ は、1 回の停留で人が取得する周辺情報の片側の範囲を表す．黙読時に必要な周辺情報であるため、 $a + A_1 < x \leq a + A_1 + A_2$ の範囲も拡大をするが、高解像度で情報処理されている範囲ではない．そのため、最大拡大率 $R(x) = r_{max}$ から等倍である $R(x) = 1.0$ まで拡大率を徐々に下げる． A_1 と $A_1 + A_2$ の具体的な数値は、今回の実験システムでは神部の研究 [12] に基づいて決定する．一方、初坂らの研究 [27]

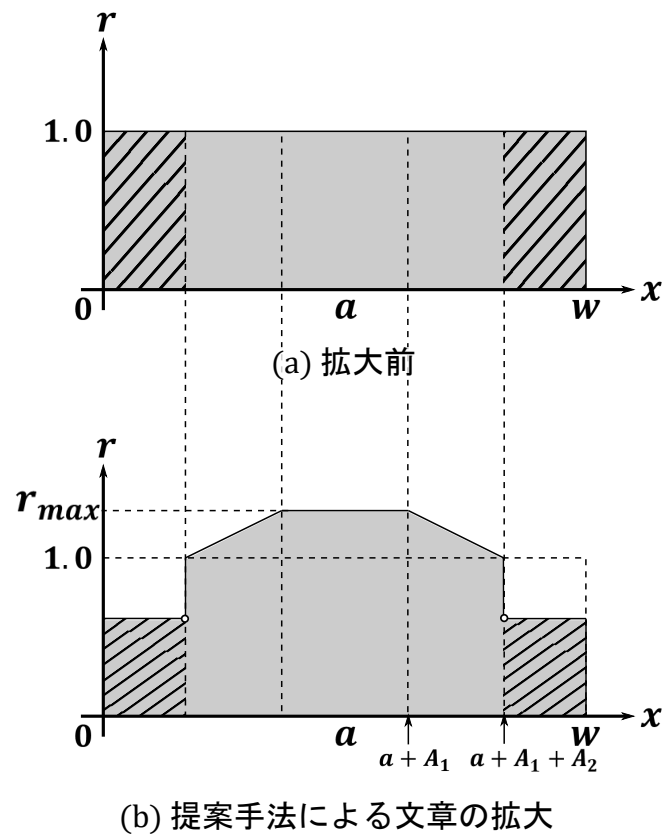


図 3.2: 提案手法の画面上の位置とその拡大率の関係 (文章)

では、中高齢者は若者と比べて視線移動時の幅が狭くなることが明らかになっている。また、経験的に加齢によって視野が狭くなることが考えられる。そのため、神部の研究で言及されていた、3 から 5 文字の視線移動、9 から 12 文字の情報収集の中から、 $A_1 = 3$ 、 $A_1 + A_2 = 9$ を採用する。また、人の視野は左右両側に広がっている。そして、老視者が既に読んだ後方部分 (日本語の場合は注視点より左側) を読み直したいこともあるため、式 3.1 を注視点 a に対して左右対称に適用する。文章に対して提案手法を適用させたときの、画面上の位置とその拡大率の関係の概念図を図 3.2 に示す。なお、実際には各文字ごとに拡大率を変化させる、すなわち拡大率は画面上の座標に対して連続的に増減させない。

式 3.1 の $x > a + A_1 + A_2$ に存在する文字は、必要な周辺情報の範囲外であるた

め、縮小倍率 $R(x) = r_{min}$ で一律に縮小する。 r_{min} は拡大されていない文字数が画面内に収まるように計算する。つまり、 r_{min} は1行 n 文字の中で拡大対象である $a - (A_1 + A_2) \leq x \leq a + (A_1 + A_2)$ の範囲外である文字の、拡大前の各文字幅の総和、つまり文字列の幅 (図 3.2(a) の斜線部の面積) に対する、拡大後の同範囲の文字列の幅 (図 3.2(b) の斜線部の面積) の割合である。拡大前後で $a - (A_1 + A_2) \leq x \leq a + (A_1 + A_2)$ の範囲外である文字列の幅は、1 行の文字列の幅 (図 3.2(a), (b) それぞれの 0 から w までの面積) から拡大対象である $a - (A_1 + A_2) \leq x \leq a + (A_1 + A_2)$ の範囲内の文字列の幅 (図 3.2(a), (b) それぞれの斜線部以外の面積) を引いて算出する。

それでは実際に作成した実験システムで、1 行 39 文字の文章を拡大させた様子を図 3.3 に示す。システムは HTML, JavaScript を用いて作成され、Windows 10 のタブレット型ノートパソコンのブラウザ上で動作する。図 3.3 は、 $A_1 = 3$, $A_1 + A_2 = 9$, $r_{max} = 2.0$ とした際の部分ズームの様子である。図 3.3 は、拡大前の図 3.3(a) の状態から、左端 (図 3.3(b)) から右端 (図 3.3(f)) まで注視点を移動させ拡大させた様子である。図 3.3(d) は文章の中央を注視点として拡大させたものであり、注視点近傍が左右対称に拡大されている。本システムは注視点が左右どちらかの端に寄り、片側の拡大する文字がなくなった際には、注視点を挟んだ反対側の拡大する文字数を増やす。つまり注視している行では、常に $1 + 2(A_1 + A_2)$ 文字拡大する。図 3.4 は、注視点が文章の左端に寄った場合の拡大を、注視点が中央にある場合の拡大と比べている。図 3.4(b) の中央を注視点とした場合には、1 行において注視点を中心とした左右対称に 1 文字ずつ、同じ拡大率となるよう拡大している。一方、図 3.4(a) で左端を注視点とした場合、注視点左側には拡大する文字が存在しないため、注視点右側で拡大する文字数をそれぞれの拡大率ごとに 2 倍にする。右端を注視点とした場合も左端の場合と同様に、注視点より左側の拡大する文字数を同じ拡大率ごとに 2 倍にする (図 3.3(f))。そして、図 3.3(b) から図 3.3(c) のように中央に向かって注視点が移動すると、注視点より左側に $a - (A_1 + A_2) \leq x < a$ の範囲内に位置する文字があるため、拡大率 $R(x)$ で拡大する。そして注視点より左側で拡大された分、注視点より右側で、左側と同じ拡大率の文字の拡大すべき文字数は元に戻す。図 3.3(f) から図 3.3(e) に視線移動した場合も同様である。

次に、実験システムで複数行の文章の中から、ある注視点を中心に拡大させた様

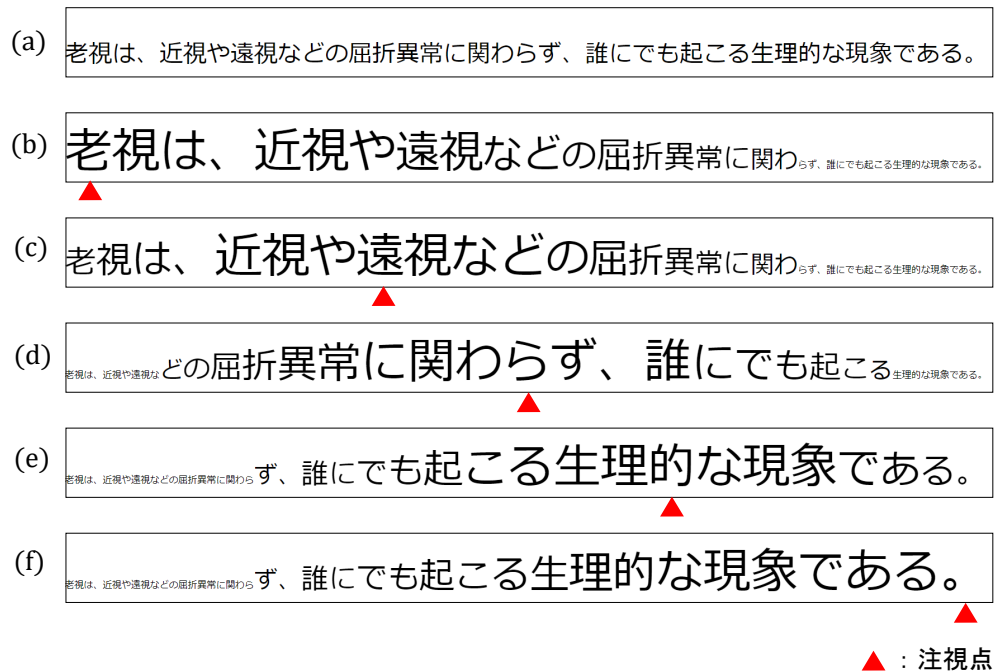


図 3.3: 1 行の各場所における文字の部分拡大：(a) 通常表示，(b) 左端を拡大，(c) 左端から中央の間の拡大，(d) 中央を拡大，(e) 中央から右端の間の拡大，(f) 右端の拡大

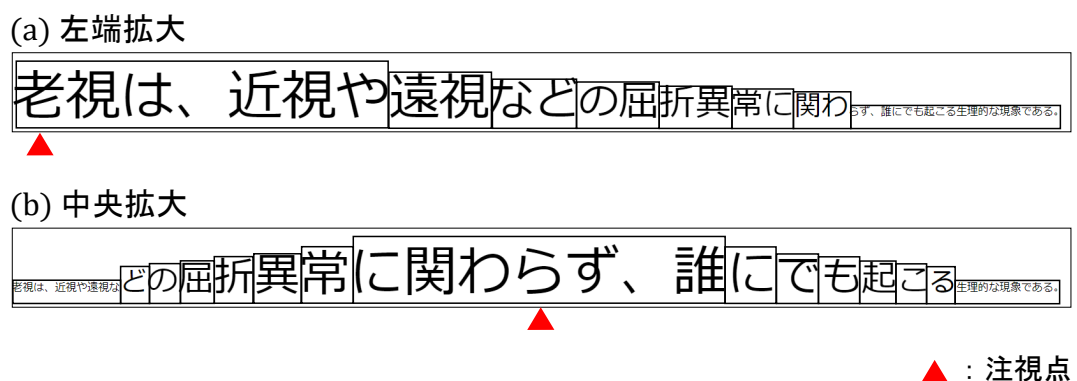


図 3.4: 左端を拡大した場合と中央を拡大した場合の比較：(a) 左端拡大，(b) 中央拡大

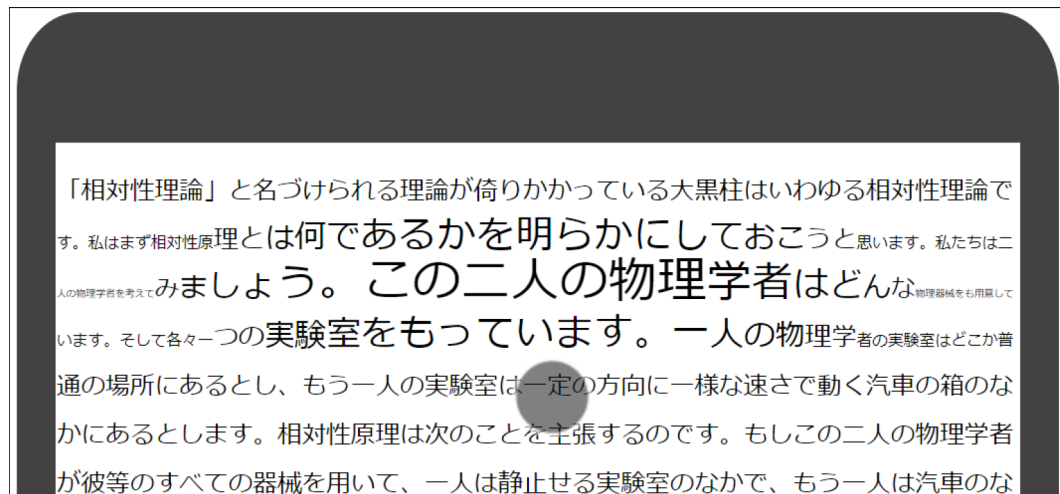


図 3.5: 文章の部分ズームシステム

子を図 3.5 に示す。図 3.5 の文章は、Albert Einstein 著 (石原純訳) の「相対性理論」の一部である [28]。このシステムでは注視点を指、あるいはタッチペンで指示する。しかし、そのままでは拡大された部分が指先やペン先で隠れてしまうため、タッチした箇所の 2 行上を注視点とする。図 3.5 の丸 (●) が、タッチ位置を表す。また拡大が注視されている 1 行のみだと、老視者が拡大したい行を探している場合や、誤ってタッチしている箇所が上下にずれてしまった場合に、拡大したい行を探すことが困難になる。そのため、実験システムでは図 3.5 のように上下行も、注視点の行の最大拡大率より小さい拡大率で部分的に拡大する。

3.3 画像の部分ズーム手法

3.2 節では、テキストデータとして構成される文章の部分ズーム手法について説明した。スマートフォンでよく閲覧する Web サイトや PDF ファイルには文章だけでなく画像も配置されている。本論文では読書時の情報収集特性に注目している。本来であれば人物写真や風景写真、地図やグラフなどの閲覧時の特性を同様に調査の上、画像の拡大方法について検討する必要があるだろう。本節では簡易的に、文章の部分ズーム手法を横方向だけでなく縦方向にも適用した画像の部分ズーム手法について述べる。画像の横方向の位置とその拡大率の関係の概念図を図 3.6 に示す。3.1

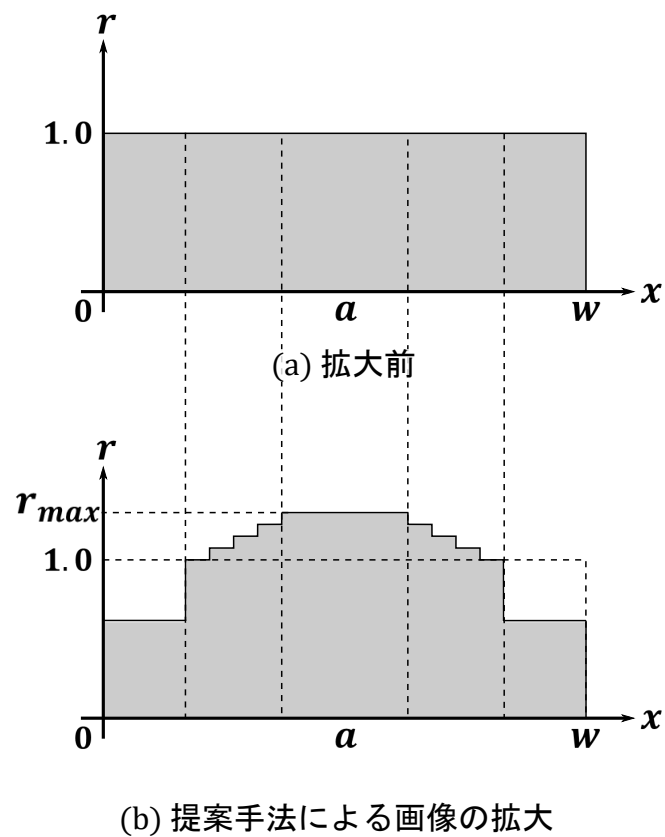
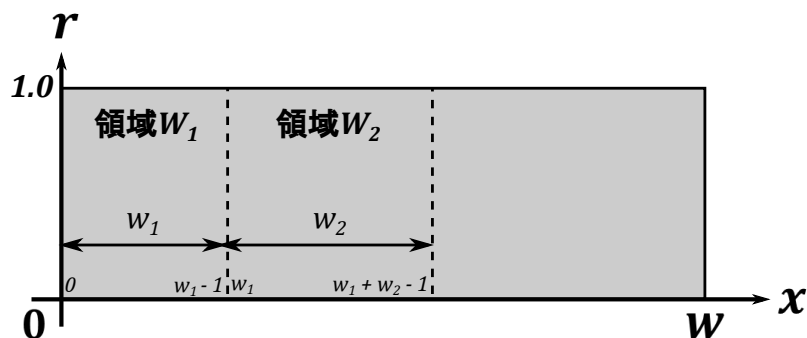
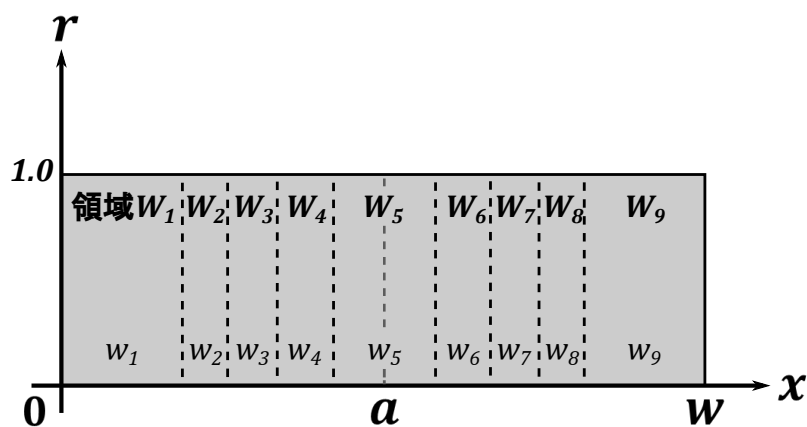


図 3.6: 提案手法の画面上の位置とその拡大率の関係 (画像)

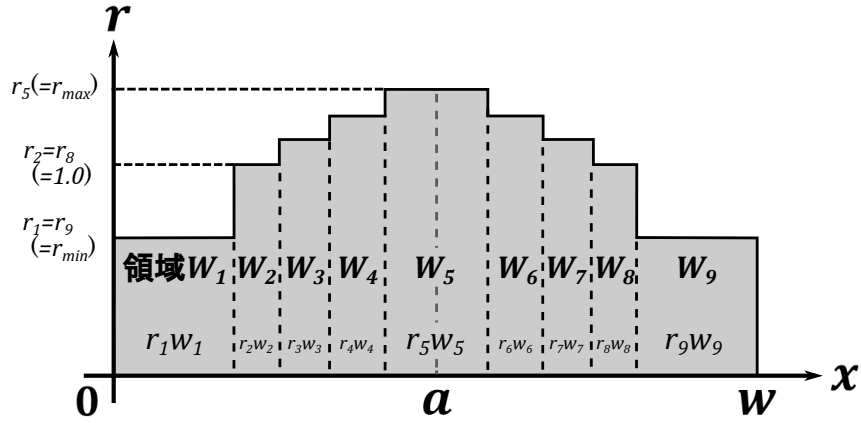
節で提案した部分拡大 (図 3.1(d)) を参考にしつつ、文章の部分拡大のように拡大率をある範囲ごとに変化させる (図 3.6)。すなわち、拡大率は画面上の座標に対して離散的に変化する。

画像は左上の画素を原点 $(0, 0)$ として扱う。すなわち、幅 w である画像の各画素の x 座標は 0 から $w-1$ である。なお今回は簡単化のため、画素位置は全て整数とする。最初に、幅 w の画像を図 3.7 のように、幅 $w_1, w_2, \dots$ のいくつかの領域 $W_1, W_2, \dots$ に分ける。例えば図 3.7 の左端の $x = 0$ から始まっている領域 W_1 は範囲 $0 \leq x < w_1$ 、幅 w_1 とする。次に $x = w_1$ から始まっている領域 W_2 は範囲 $w_1 \leq x < w_1 + w_2$ 、幅 w_2 とする。すなわち、 $n = 1, 2, \dots, N$ に対する領域 W_n は範囲 $\sum_{k=0}^{n-1} w_k \leq x < \sum_{k=0}^n w_k$ 、幅 w_n と表せる。なお、便宜上 $w_0 = 0$ とする。ここです、注視点が中央にあり、左

図 3.7: 幅 w_1, w_2 の領域 W_1, W_2 に分けた例図 3.8: 拡大前の各領域 W_n (幅 w_n) とその拡大率の関係

右対称に拡大させる典型的な場合を考える．その上で，幅 w の画像を W_1 から W_N までの N 個 ($N = 9$) の領域に分ける (図 3.8)．グラフの横軸 x は画像の水平方向を表し， w は画像の横幅， a は注視点である．縦軸 r は拡大率を表す．中央の領域 W_5 の中心が注視点 a となるように，またその左右に対象になるように領域 W_1 から W_9 を設定する．

そして，領域 W_1 から W_N それぞれに対して r_1 から r_N と拡大縮小率を定める．なお r_1 から r_9 のいくつかは，縮小率 r_{min} ，あるいは最大拡大率 r_{max} と等しくする．本来の，拡大前の画像 (図 3.8) に対する，各領域 W_n の拡大率を図 3.9 に示す．図中の各領域の占める面積が，拡大後の幅を表している．両端の領域は $r_1 = r_9 = r_{min}$ と縮小させ，その隣の領域は $r_2 = r_8 = 1.0$ と等倍にし，中央の領域は $r_5 = r_{max}$ と

図 3.9: 拡大後の各領域 W_n (幅 $r_n w_n$) とその拡大率の関係

最も拡大する．それ以外の倍率も，注視点を中心に $r_3 = r_7$ かつ $r_4 = r_6$ として左右対称とする．また，幅 w_n であった領域 W_n は拡大縮小後には幅 $r_n w_n$ ，すなわち $\sum_{k=0}^{n-1} r_k w_k \leq x < \sum_{k=0}^n r_k w_k$ の範囲となる．なお，便宜上 $r_0 = 1.0$ とする．縮小率 r_{min} は文章の時と同様に，領域 W_1 と W_9 の，拡大前の幅 w_1 と w_9 に対する拡大後の幅 $r_1 w_1$ と $r_9 w_9$ の割合である．そのため，縮小率 r_{min} は式 3.2 のように表せる．

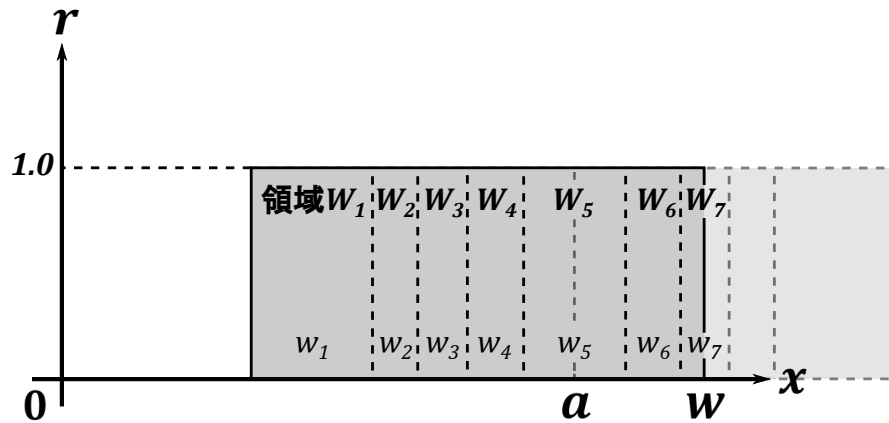
$$r_{min} = \frac{w - \sum_{k=2}^{N-1} r_k w_k}{w - \sum_{k=2}^{N-1} w_k} \quad (3.2)$$

最後に，画像中のそれぞれの領域 W_1 から W_N に対しての拡大縮小の式を考える．部分拡大前の座標 x 上の画素値を $I(x)$ と表す．また，部分拡大後の画像の座標 X 上の画素値を $I_{zoom}(X)$ と表す．そして，注視点が $x = a$ の位置にある場合に領域 W_1 から W_9 それぞれの拡大縮小を考える．今回は，最近傍補間法での拡大を考える．それぞれの幅 w_n の領域 W_n に対して拡大率 r_n で拡大縮小する．部分拡大前後の各画素の値において式 3.3 が成立する

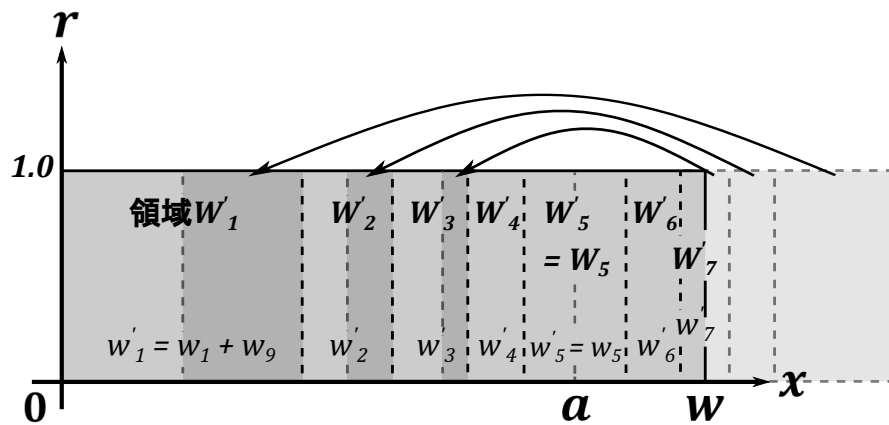
$$I(x) = I_{zoom} \left(\left(x - \sum_{k=0}^{n-1} w_k \right) r_n + \sum_{k=0}^{n-1} r_k w_k \right) \quad \left(\sum_{k=0}^{n-1} w_k \leq x < \sum_{k=0}^n w_k \right) \quad (3.3)$$

$$(n = 1, 2, \dots, 9)$$

次に，注視点が画像の中央から外れた場合を考える．まず，図 3.8 の分割パターンを，注視点が合うように適用する (図 3.10(a))．当然，分割パターンの一部は実際の



(a) 右寄りの注視点を中心に分割パターンを適用



(b) はみ出た領域と同拡大率の領域の幅を増加

図 3.10: 注視点が右に寄った際の拡大前の各領域 W_n : (a) 右寄りの注視点を中心に分割パターンを適用, (b) はみ出た領域と同拡大率の領域の幅を増加

画像からはみ出てしまう．そこで，図 3.10(b) のように，注視点に対して反対側にある同じ拡大率の領域の幅を広くする．図 3.10 の注視点の位置では，拡大率 r_8 , r_9 で拡大される領域 W_8 , W_9 がはみ出てしまうため，注視点より左側で，同拡大率で拡大する領域 W_2 , W_1 の幅 w_2 , w_1 をその分増加させる．また拡大率 r_7 で拡大される領域 W_7 も一部はみ出ているため，同様に領域 W_3 の幅 w_3 をその分増加させる．

それでは実際に作成した実験システムで， $w = 400\text{px}$ の正方形の画像を拡大させた様子を図 3.11 に示す．式 3.3 を横方向と縦方向両方に適用して，両方向で画像を部分的に拡大している．文章同様 HTML, JavaScript を用いて作成され，Windows

10 のタブレット型ノートパソコンのブラウザ上で動作する．このシステムでは注視点を指，あるいはタッチペンで指示する．図 3.11 では注視点が分かりやすいようにタッチ位置 (図 3.11 の丸 (●)) を注視点としている．また，拡大率 r_2 から r_8 で拡大 (もしくは等倍) される幅 w_2 から w_8 の値はそれぞれ， $w_5 = 0.1w = 40$ ， $w_4 = w_6 = 0.05w = 20$ ， $w_3 = w_7 = 0.025w = 10$ ， $w_2 = w_8 = 0.025w = 10$ とする．最大拡大率は $r_{max} = r_5 = 1.6$ で，そこから拡大率は 0.2 ずつ減少し $r_2 = r_8 = 1.0$ となる．拡大前が図 3.11(a) の状態であり，中央を部分拡大させた様子が図 3.11(b) である．そこから右に注視点が移動すると 3.11(c) のようになり，右からさらに下に注視点が移動すると図 3.11(d) のようになる．

3.4 文章と画像の境界のズーム手法

3.2 節と 3.3 節で文章と画像それぞれに対して部分ズームを行う実験システムを構築した．最後に，PDF ファイルやレイアウトの固定された Web サイトを想定して，文章と画像が同じ表示領域にある場合の部分ズームを考える．注視点を拡大中心とした部分拡大が，文章か画像のどちらかの場合のみは 3.2 節と 3.3 節の方法で問題ない．しかし文章と画像の境界付近で，注視点が文章から画像に移動する場合，あるいはその逆の場合は，老視者が本当に自分の見たいところを注視しているか確かめられるように，注視点の周囲は拡大境のように上下左右拡大させたい．そのため，中心から一定距離の範囲を拡大させるようにする．今回は，図 3.12 のように文章 (文章領域) と画像 (画像領域) が横に並んでいる表示を考える．そして，境界付近に注視点がある場合は双方とも部分拡大を行う．

最初に，画像を注視している際の文章の部分拡大を考える．文章領域から注視点が離れても，ある一定の距離ならば引き続き文章を拡大する．図 3.12 の文章領域の左上を基準として考える．基準から画像領域にある現在の注視点までの横方向の距離を x とする．そして，文章領域 W_t の横幅を w_t とし，文章領域からどれだけ注視点が離れたかによって，何文字拡大させるかを決定する．つまり，文章領域から離れるほど拡大する文字数を減少させる．注視点が文章領域にある場合の拡大する文字数を最大拡大文字数 $T_1 (= 1 + 2(A_1 + A_2))$ とし，注視点が画像領域に移動した

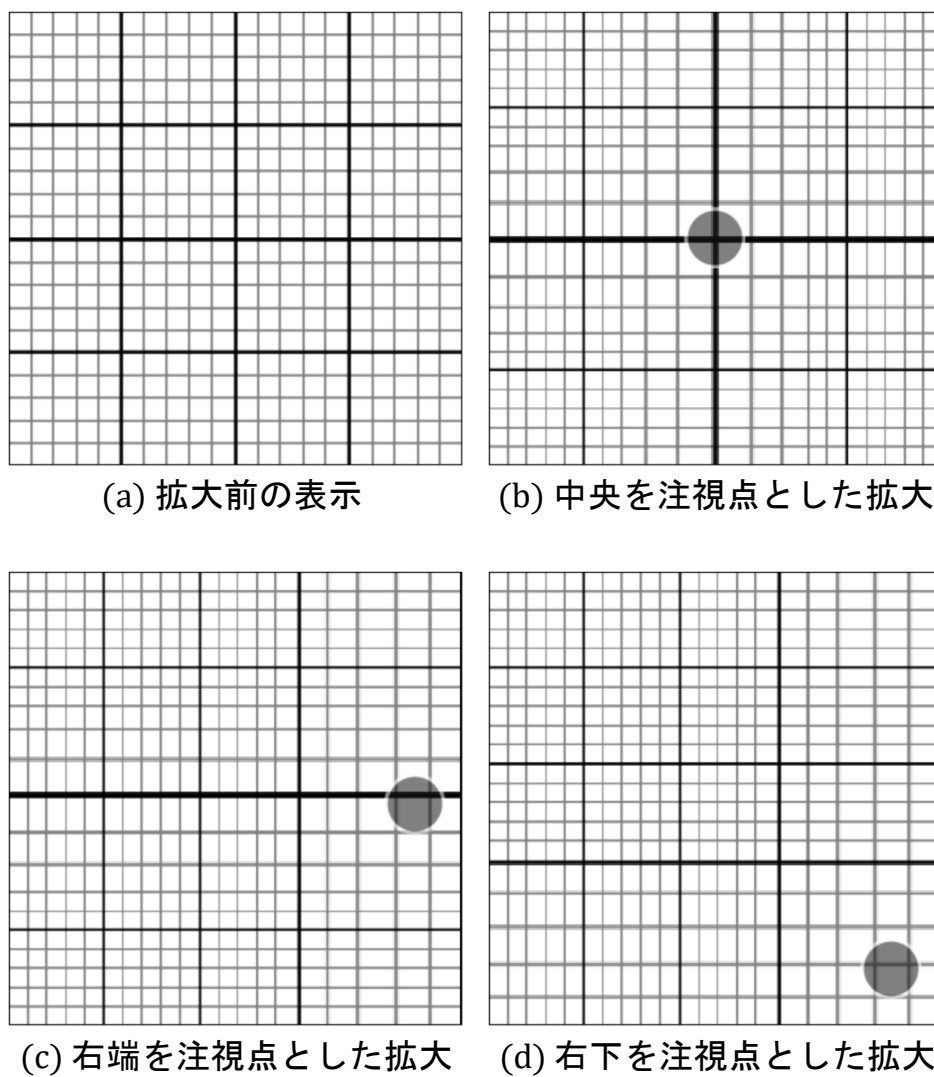


図 3.11: 各注視点における画像の部分拡大 : (a) 拡大前の表示, (b) 中央を注視点とした拡大, (c) 注視点が右に寄った拡大, (d) 注視点が右下に寄った拡大



図 3.12: 文章と画像が並んでいる表示

場合、どれだけ文章領域から離れたかによって、図 3.3(f) の最大拡大文字数 T_1 分拡大されている状態から拡大されている文字数を減少させる。減少した拡大文字数を T_2 とする。そして、等幅フォントを使用しているため 1 文字の縦横比を 1:1 と仮定し、文字の拡大前のフォントサイズを s とし、注視点の座標 x が文章領域 W_t から s ずつ離れるごとに、1 文字ずつ拡大する文字数を最大拡大文字数 T_1 から減らす。よって、注視点が位置 x の場合の T_1 から減少した拡大文字数 $T_2(x)$ を式 3.4 のように定義する。

$$T_2(x) = \begin{cases} T_1 - \left\lfloor \frac{x - w_t}{s} \right\rfloor & (w_t < x \leq w_t + s \cdot T_1) \\ 0 & (x > w_t + s \cdot T_1) \end{cases} \quad (3.4)$$

注視点が文章領域から画像領域に移動し、文章領域の右端から通常表示での 1 文字の幅分遠ざかるごとに、拡大文字数 T_2 を 1 文字減らす。そして、注視点が文章領域の右端から最大拡大文字数 T_1 の幅分移動したら、拡大文字数 $T_2(x) = 0$ となり画像のみの拡大とする。注視点が、文章領域と画像領域の境界から画像領域に移動した際の、文字の拡大の変化を図 3.13(a) から 3.13(b) に示す。図 3.13 の丸 (●) が、タッチ位置を表す。3.2 節と同様見たい箇所が隠れないように、表示領域内でタッチした箇所の 2 行上 (30px 上) を注視点としている。

次に、文章を注視している際の画像の部分拡大を考える。画像領域から注視点が離れても、ある一定の距離ならば引き続き画像を拡大する。先ほどと同じく図 3.12 の文章領域の左上を基準として考える。画像の左端を注目している際の拡大前の各領域 W_n の分け方を図 3.14(a) に示す。図 3.14 のように画像の左端に注視点がある場合は、本来なら注視点左側にある領域 W_1 から W_4 (図 3.8) はなく、領域 W_5 から W_9 の範囲に分かれている。ここから、文章領域に移動した場合は、図 3.14(b) のように、注視点から計算して画像内に存在できない領域 W_n は幅 $w_n = 0$ として無くし、その分、後に縮小させる領域 W_9 の幅 w_9 を増加させる。つまり、注視点が画像領域から離れるほど画像の拡大される幅は減少し、縮小される領域が増える。また、幅 w_9 が増加することにより、式 3.2 の縮小率は 1 に近づく。そして注視点が、画像領域から拡大される分、つまり図 3.8 の $\sum_{k=2}^{N-1} w_k$ (図 3.14 では $\sum_{k=5}^{N-1} w_k$) 分離れたら、文章のみの拡大とする。そのため、文章領域 W_t にどれだけ注視点が移動したかによって、画像の拡大縮小をするかどうか判定する。 $w_t - \sum_{k=2}^{N-1} w_k < x \leq w_t$ の際は注視点が文章領域にあるが、画像も拡大される。そして、 $x \leq w_t - \sum_{k=2}^{N-1} w_k$ となると画像の拡大をやめる。注視点が、画像領域と文章領域の境界から文章領域に移動した際の、文字の拡大の変化を図 3.15(a) から 3.15(b) に示す。タッチ位置に関しては前述と同様である。



図 3.13: 文章と画像の境界線上の拡大：(a) 注視点が境界線付近，(b) 注視点が画像領域に移動

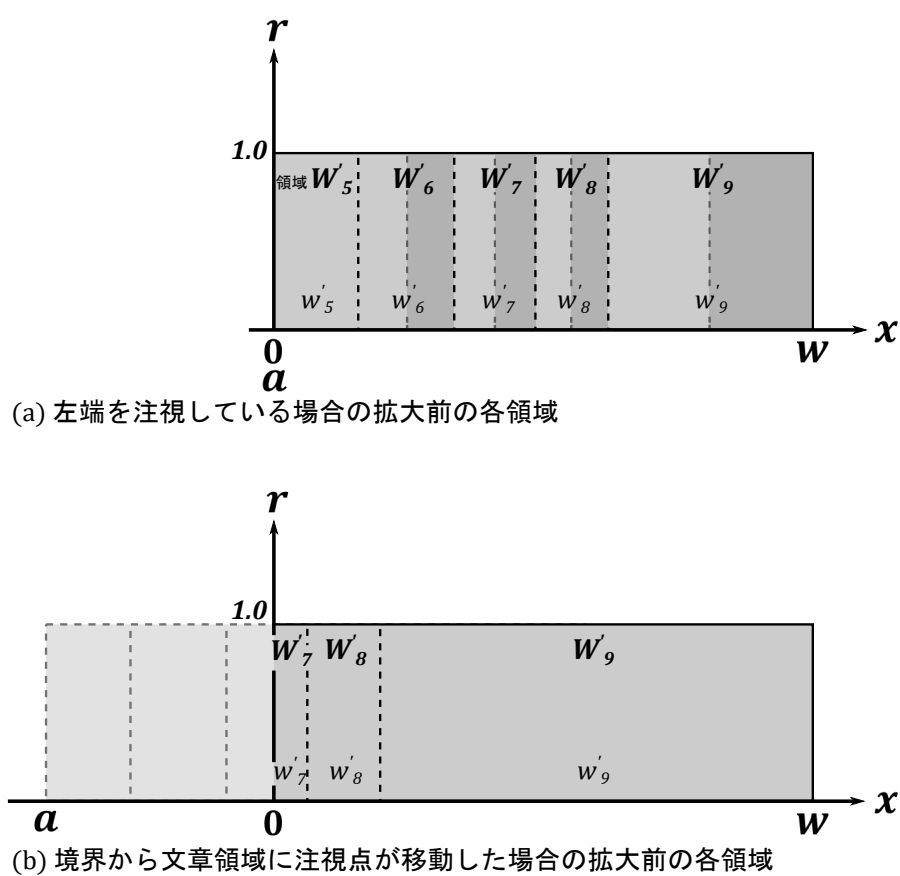


図 3.14: 境界での画像側の拡大を示した概要図: (a) 左端を注視している場合の拡大前の各領域, (b) 境界から文章領域に注視点が移動した場合の拡大前の各領域



図 3.15: 文章と画像の境界線上の拡大 : (a) 注視点が境界付近, (b) 注視点が文章領域に移動

第4章 各表示形式や拡大鏡使用における拡大と提案手法を用いた拡大の評価実験

3章でスマートフォンのような小さな画面でも、周辺情報がフレームアウトしない部分ズーム手法を提案した。この手法によって、老視者の読み心地が向上することを確かめたい。そのため本章では、2章で述べた2種類の表示形式における拡大と、拡大鏡を使用した拡大の計3種類の拡大、および提案手法による拡大で比較をし、今回の提案手法の読み心地を調査する。なお、提案手法はPDFファイルなどのレイアウトが固定されているドキュメントが対象であるが、比較のためレイアウトが流動的に変化する再流動型表示での拡大も含めて実験する。

4.1 実験概要

提案手法を用いた部分ズームが、他の拡大方法と比べて本当に老視者にとって読みやすい拡大方法なのかどうかを調査する。そのためこの実験では、テキストデータとして構成される文章を、2章で述べた拡大方法と3章で述べた提案手法を用いて同じ倍率で拡大する。そして、被験者にそれぞれの方法で拡大された文章を黙読してもらい、要した時間を計測する。加えて、それぞれの拡大方法での読み心地や、今後使用したいかどうかをアンケートで主観評価してもらい、また提案手法を用いた実験システムを使った感想や今後のための改善点を記述してもらう。これらの結果から、提案手法が老視者にとって読み心地の良い拡大かどうかを確かめる。

本実験の被験者は男性6名、女性2名の計8名の、大学生・大学院生である。全員老視者ではなく、また視機能にも問題はない。そのため実験の最初に老視について説明し、被験者には老視者の状況を想定しながら評価してもらう。なお、全ての被験者から実験参加についての同意を確認している。

4.2 実験手順

実験開始から終了までの一連の流れを説明する。この実験では、被験者に何種類かの内容が異なる文章を、あえて拡大した状態で黙読してもらう。そして、黙読する文章内容を変更するごとに、文章の表示形式や拡大方法を変化させる。被験者には拡大方法が異なる文章を黙読してもらい、その際に要した時間を計測する。被験者が全ての拡大方法を試した後に、それぞれの拡大方法を比較しながら読み心地を回答してもらう。本実験のためのシステムはHTML, JavaScript を用いて作成され、Windows 10 のタブレット型ノートパソコンのブラウザ上で動作する。

1 実験開始前：被験者にはまず実験の目的と手順の説明する。今回は、実験目的の説明中に、老視症状と老視者がスマートフォンなどの小さい画面で表示を拡大する際の状況を説明した。最初に、老視とは何かを説明し(1章第2段落参照)、その後、老視者と老視症状のない人のスマートフォン使用時の見え方や拡大目的の違いを説明した(1章第4段落参照)。また、本実験では被験者に老視者に似た環境で黙読してもらうため、パソコン画面から顔を40cm以上離して画面を見てもらう。この40cmは、50代正視で老視症状のある場合の、およそその近点(ピントが合う最も近くの位置)である。さらに、本実験では画面をタッチして操作することが中心であるが、今回の実験では元々の文字が小さく、指で操作を行うと指で隠されて見えなくなってしまうため、全ての操作はパソコン付属のタッチペンで行ってもらう。その後、今回の実験で黙読する文章の表示方法を含む操作方法を、黙読画面のサンプルを見せて説明する。説明に使用したサンプルを図4.1から図4.7に示す。使用した文章は、Albert Einstein 著(石原純訳)の「相対性理論」の一部である[28]。提案手法を用いた拡大では、拡大前の表示(図4.1)から、指またはタッチペンで注視点の2行下をタッチすると、注視点を拡大中心として表示が拡大される(図4.2)。再流動型表示の拡大では、拡大前の表示(図4.3)から、文章表示領域の下側にある「拡大」ボタンを押すと表示が拡大される(図4.4)。もう一度、今度は「縮小」と表記された同じボタンを押すと、拡大前の表示に戻る。固定レイアウト型も同様の操作で拡大前(図4.3)と拡大後(図4.5)に切り替えられる。拡大鏡は、拡大前の表示の左上にあ



図 4.1: 拡大前の表示 (提案手法)

る(図 4.6). この拡大鏡を指またはタッチペンで操作し、表示の一部を拡大することができる(図 4.7).

2 実験開始: 本実験では、表示形式と拡大方法の異なる文章を何種類か黙読してもらう。本システムは被験者に小さな画面内で文章を読んでもらうため、文章表示域を iPhone 8 Plus の 5.5 インチと同じサイズに制限している。黙読開始前に図 4.8 に示す通知が表示される。この通知を「OK」ボタンを押して閉じると、文章表示の画面に遷移し、文章の黙読を開始してもらう。

3 文章黙読: 図 4.8 に示す通知を消すと、実験用の文章が表示される。そして同時に黙読時間の計測が開始する。被験者には、表示された文章を拡大しながら黙読してもらう。図 4.9 に黙読画面の一例を示す。図 4.9 の文章は、実際にこの実験でも使用した、1932 年寺田寅彦著の「夏目漱石先生の追憶」の一部である [29]。文章は、提案手法で拡大可能なもの(図 4.9(b))と拡大鏡で拡大可能なもの(図 4.9(c))が各 1 種類ずつ、再流動型表示で既に拡大されたもの(図 4.9(d))と固定レイアウト型表示で既に拡大されたもの(図 4.9(e))が各 1 種類ずつ、計 4 種類のいずれかの方法で拡大



図 4.2: 提案手法による拡大



図 4.3: 拡大前の表示 (再流動型・固定レイアウト型表示)



図 4.4: 再流動型表示での拡大



図 4.5: 固定レイアウト型表示での拡大



図 4.6: 拡大前の表示 (拡大鏡)



図 4.7: 拡大鏡を使用した拡大

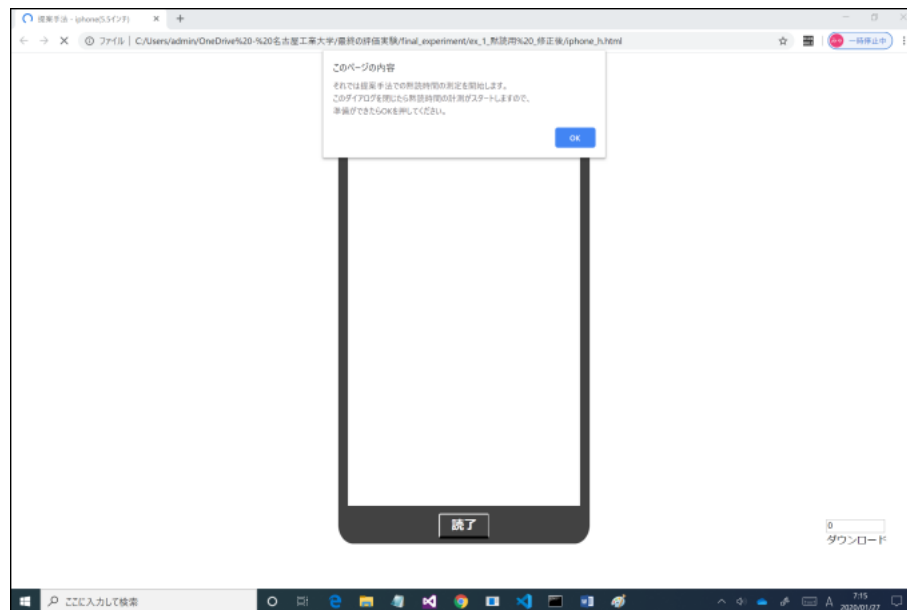


図 4.8: 黙読開始前の表示

表示される。文章は全て図 4.9(a) が拡大前であり、この拡大前の表示から 2 倍に拡大されている。なお、拡大前の表示で黙読は行わない。また、黙読用の文章は全て 30 秒前後で読めるように 300 ± 10 文字である。そして、文章内容は全部で 4 種類あり、著作権フリーの文章を選定した。この実験では結果の平均化のため、被験者ごとに拡大方法と文章内容をランダムに組み合わせて表示する。そして、この 4 種類の拡大方法を被験者ごとに違う順番で各 1 回ずつ表示するため、被験者は計 4 回拡大された文章を黙読してもらう。また、1 度使用された文章と拡大方法は重複して使用されることはない。文章の最後には《終：読了ボタンを押して下さい》と表示されている。文章の下部にある「読了」ボタンを推すと同時に、時間計測が終了し内容理解度を確認するテストが表示される。なお、被験者には事前の説明で、2 章実験 1 と同様の黙読中の注意事項を説明した (詳細は 2.2.2 節の「3 文章黙読」を参照)。ただし、黙読中に画面に顔をかなり近づけて読む行為の禁止は、黙読中に顔と画面の距離が 40cm 未満の状態で読む行為の禁止と変更する。

4 内容理解度確認：内容理解度確認画面では、先ほど黙読した文章の内容理解度を問う正誤問題が全 2 問表示される (図 4.10)。被験者には、この正誤問題に回答して



図 4.9: 黙読時間測定中の実験画面：(a) 拡大前, (b) 提案手法による拡大, (c) 拡大鏡を使用した拡大, (d) 再流動型表示での拡大, (e) 固定レイアウト型表示での拡大

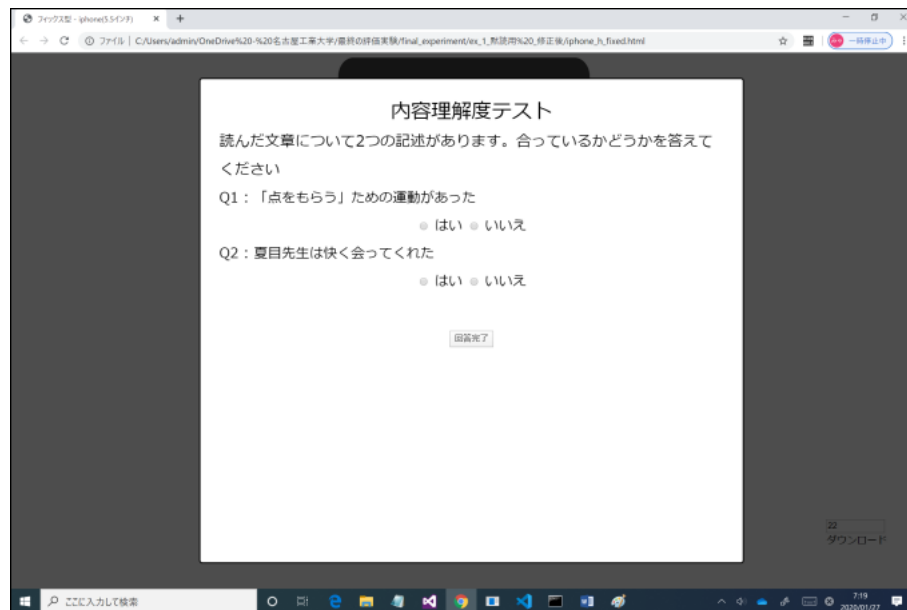


図 4.10: 内容理解度確認テストの表示

もらう (詳細は 2.2.2 節の「4 アンケート回答」を参照)。全て答え終えたら「回答完了」ボタンを押してアンケート画面を閉じてもらう。そして、別の表示形式、拡大方法の文章黙読画面に移行し、新たな文章の黙読が始まる。

5 黙読終了：黙読 (手順 3) と内容理解度確認 (手順 4) を合計 4 回繰り返すと、黙読時間の計測は終了する。続いて読み心地に関するアンケートを開始する。

6 アンケート回答：全ての文章の黙読が終了したら、被験者には提案手法とその他既存の表示形式、拡大方法それぞれに対して、読み心地や今後使用したいかどうかをアンケートで主観評価してもらう。実際のアンケート画面を図 4.11 に、アンケート項目を下記に示す。なお、アンケートの作成には Google フォームを利用した。

質問 1 拡大前と比べて、拡大後の文章の読み心地はどうか (5 点：非常に読みやすい, 4 点：読みやすい, 3 点：拡大前と変わらない (基準), 2 点：読みやすくない, 1 点：非常に読みやすくない)

質問 2 拡大後に、読みたい箇所はすぐに見つかるか (5 点：非常に見つけやすい,

4点：見つけやすい，3点：どちらとも言えない，2点：見つけにくい，1点：非常に見つけにくい)

質問3 今後自分が老視になった場合に，この拡大方法を使いたい (5点：積極的に使いたい，4点：使いたい，3点：どちらとも言えない，2点：使いたくない，1点：絶対に使いたくない)

質問4 提案手法について，質問1で読み心地にその点数をつけたつけた理由を述べてください (記述式)

質問5 提案手法について，改善点があれば教えてください (記述式・任意)

質問1から3では，被験者に計4種類の拡大方法に関して，1点から5点までの0.5点刻みで評価してもらう。評価は相対的に，それぞれの拡大方法を比較しながら行ってもらおう。例えば再流動型表示と固定レイアウト型表示でどちらも読み心地が4点と思う場合は，できるだけどちらが読み心地が良いか比較してもらい，どちらかに4.5点もしくは3.5点をつけてもらう。質問4と5では，提案手法に対する感想を自由に記述してもらう。またアンケート回答中は，図4.1から図4.7に示す各拡大方法のサンプル画面を見てもらう。ここでは時間計測用の短い文章ではなく，長い文章を提示している。そして，老視者が電子メールやニュースサイトなどでこのような長文を読む場合を想定して，被験者にそれぞれの拡大方法を再度体験してもらう。アンケートの回答が終わると，実験は終了する。

4.3 実験結果

各拡大方法ごとの黙読時間を図4.12に示す。横軸は拡大方法，縦軸が黙読時間(秒)を表す。図4.12中の箱ひげ図それぞれに引かれた線は中央値を示し，丸印(○)は平均値を示す。箱ひげ図の外側にある丸印(○)は外れ値として処理したデータである。さらに各拡大方法ごとの黙読時間の平均に有意差があるかどうか検定をした。被験者が30人未満なので，ウィルコクソンの符号順位検定を行った。検定は各文字数総当たりで行い，図4.12のように有意差があった。図4.12に示す通り，再流動型表示での黙読時間が最も短く，提案手法での黙読時間が最も長くなった。これは，提案

各拡大手法についてのアンケート

使用した4種類の拡大について、概対的に比べて以下の設問を回答してください。

*必須

拡大前と比べて、拡大後の文章の読み心地はどうか*

5点：非常に読みやすい 4点：読みやすい 3点：拡大前と変わらない(標準) 2点：読みやすくない 1点：非常に読みやすくない

	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
固定レイアウト型 (フィックス型)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
再流動型 (リフロー型)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
拡大鏡	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
提案手法	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

拡大後に、読みたい箇所はすぐに見つかるか*

5点：非常に見つかりやすい 4点：見つかりやすい 3点：どちらとも言いにくい 2点：見つかりにくい 1点：非常に見つかりにくい

図 4.11: アンケート画面

手法の操作方法が原因だと考えられる。今回は実験の条件を揃えるため、被験者に拡大鏡と提案手法使用時に文章の全ての文字に対して拡大を行うように指示をした。再流動型、固定レイアウト型は、画面内のどこをタッチしても問題なく操作に手間がかからない。また拡大鏡も表示範囲が上下5~6行入るため、1行をなぞるように移動しなくとも問題ない。しかし、提案手法は今注目したい行の2行下を指やタッチペンでなぞらなくてはならない。そのため、被験者のうち数人が1行ずつなぞる操作に手間取っており、黙読時間が大幅に伸びた。実際に、質問5での回答や口頭で提案手法の操作方法について意見があった。被験者からいただいた意見を下記に示す。

- 拡大位置の判定幅をもう少し広くしてもいいと思った
- タッチして拡大するのではなく、アイトラッキングを用いて今注視している箇所に合わせて拡大した方が良いのではないかと

これらの意見を取り入れて、拡大方法を改善すれば、黙読時間の差はなくなると考えられる。

また、実験後に行ったアンケートの結果を表4.1から表4.3に示す。表4.1から表

4.3の数値は、被験者全員の点数を平均した値である。そしてこの結果に対して符号検定を行うと、表4.1の再流動型表示と固定レイアウト型表示の読み心地の点数のみ $p < 0.05$ となり有意水準5%で有意差があった。それ以外は、点差はあるが有意差があるわけではないため、明確に読みやすさに違いがあるとは言えない。しかし、提案手法は平均して4点以上であり、主観的に拡大鏡や固定レイアウト型よりも読みやすいと評価する被験者が多かった。質問4で、提案手法に対して好意的な意見を下記に示す。

- ピンポイントで見たい部分が拡大できるのがよかった
- 注目されている箇所が拡大されているため読み易かった
- 自分が読んでいる箇所(全体から見た相対的な箇所)がわかりやすい

これらの意見から、部分的に読みたい箇所を拡大する提案手法は有効だと考えられる。また質問2の評価にも表れているが、提案手法では表示がフレームアウトしないため自分の読んでいる箇所がわかりやすくて良い、という意見があった。一方で、提案手法の問題点を指摘した意見もある。具体的な意見を下記に示す。

- 左右のスクロール操作がないため再流動型が読みやすいと感じた
- 読んでいる箇所の近辺に動きがないほうが読みやすく感じた

これらの意見と図4.12から、文章全体を読む際には、出来るだけ動きのない拡大である再流動型表示での拡大が読みやすいことがわかる。ただし、今回の実験の主目的はPDFファイルなどのレイアウトが固定されたドキュメントを対象とした拡大手法の比較評価である。レイアウト固定ドキュメントを想定して再流動型表示を除外して考えると、提案手法、固定レイアウト型表示、拡大鏡のうちのどの方法でも、左右スクロールが必要になる。現在の提案手法では、文章全体を拡大させて読もうとすると、1行ずつなぞる必要があるため手間であると考えた被験者が多かった。しかし、提案手法は最初の表示からフレームアウトしないため、固定レイアウト型表示での拡大や拡大鏡と比べて指やタッチペンでの操作が最小で済むと考えられる。そのため、黙読中詳細に見たいところを、全体を見つつ提案手法で部分的に拡大する

と、操作の手間や、黙読中の表示の動きが気にならなくなると考察できる。また、質問4で寄せられた意見の中では他にも、黙読中に文字サイズが変わることに対しての意見もあった。それぞれの意見を下記に示す。

- これから読もうとしている先が縮小されてしまうため、流れるように読むということは難しいと感じた
- 個人的にすべて同じサイズの文章を読むことに慣れているので、提案手法で上下の文字より大きい文字を読むことに違和感を感じてしまった

被験者の言う通り、今回の提案手法では1行ごとの文字サイズが変化するため、読み慣れていなければ違和感を感じるかもしれない。また注視点が右端近くでない限り、これから読む範囲、つまり注視点より右側にも縮小される領域がある。そのため、右側の縮小領域をなくせば、あるいは右側よりも左側を縮小するような左右非対称の拡大縮小にすれば、これから読む範囲の情報収集がより容易となり、読みやすさが改善されと考えられる。また、こうして読む方向に拡大する文字数を増やすことで、文字サイズの異なる文章を読んでいる感覚を軽減できると予想する。これらのことや、提案手法の読み心地は平均4点以上と高い点数であることから、主に文章全体を見てから、見たい詳細の部分を部分的に拡大する際に有効であり、読み心地を改善できると言える。しかし、文章全体を拡大させて読む際には、操作方法や読み取る方向の前方で文字が縮小されていることに違和感を感じるため、改善する必要がある。

続いて質問2では、提案手法が最も高い得点となった(表4.2)。再流動型はレイアウトが再編されるため、読みたい箇所が違う行、違うページに移動する。今回の場合縦スクロール操作のみで読みたい箇所を探せるため、手間と思わない被験者もいた。しかし、評価点数は有意差は認められなかったものの、提案手法より低い。固定レイアウト型は、画面上の縦横双方に表示がフレームアウトするため、縦スクロールに加えて横スクロールが必要になる。そのため、再流動型よりも点数が低くなったと考えられる。提案手法では、拡大によって拡大箇所周辺の表示は変化するが、それ以外は拡大前と表示が変わらない。そのため、質問4でいただいた意見の中にもあったが、自分の読みたい位置をタッチするだけで、全体を把握しながらも注目し

たい箇所を拡大することができる。また、拡大鏡でも同様のことができるが、拡大鏡は拡大領域周辺の情報が切り取られるため、動かしている間に自分がどこを見ているのかわからなくなるという意見があった。そのため、こちらも提案手法より点数が低かったと考えられる。これらのことから、提案手法は4種類の拡大の中で、最も読みたい箇所を見つけやすい拡大だと言える。特に、拡大するとフレームアウトしてしまう長い文章に対して有効な拡大方法だと考えられる。

質問3でも、提案手法が最も高い得点となった(表4.3)。理由としては、今まで考察した通り、拡大鏡や固定レイアウト型と比べてフレームアウトする情報が無く、全体の表示を残したまま拡大できるからだと考えられる。また被験者の中には、再流動型での拡大はあまり使いたくないと言う人もいた。理由としては、再流動型表示で拡大をすると、1行の文字数が少なくなり行数が増えるため、頻繁に別の行に移動しなければならないからである。これらの理由により、提案手法による拡大は老視者にとって使いやすいと評価されたと考察できる。

最後に、質問5の中には下記のような意見もあった。

- 大きくする部分を数文字増やしてもよいのではと感じた

今回は、試験的に拡大文字数を注視点から片側 $A_1 + A_2 = 9$ と定めた。しかし、実際周辺情報が取得出来る範囲は年齢や人による。今回の $A_1 + A_2 = 9$ は、3.2 節より、老視者の視野が狭まっていることから設定した文字数である。そのため、被験者である若者にとっては、もう何文字か拡大した方が、周辺情報が取得しやすいと考察できる。このことから逆に、拡大範囲を調節すれば、老視者以外にも読みやすい拡大になると期待できる。

これらのことから、現在の提案手法では文章全体を黙読する際に、操作の手間がかかることや、文字サイズが頻繁に変わることから黙読時間が増加することがあると言える。しかし、スマートフォンのような小さな画面に長い文章が表示されているような状況では、提案手法を使えば最初の表示からフレームアウトすることなく、注目部分を拡大できる。これにより、拡大後でも全体を見ながら拡大した部分を詳細に見ることができ、また読みたい箇所も見つけやすいため、主観的に読みやすいと感じる人が多い。そのため常に表示を拡大する際にフレームアウトしてしまい、

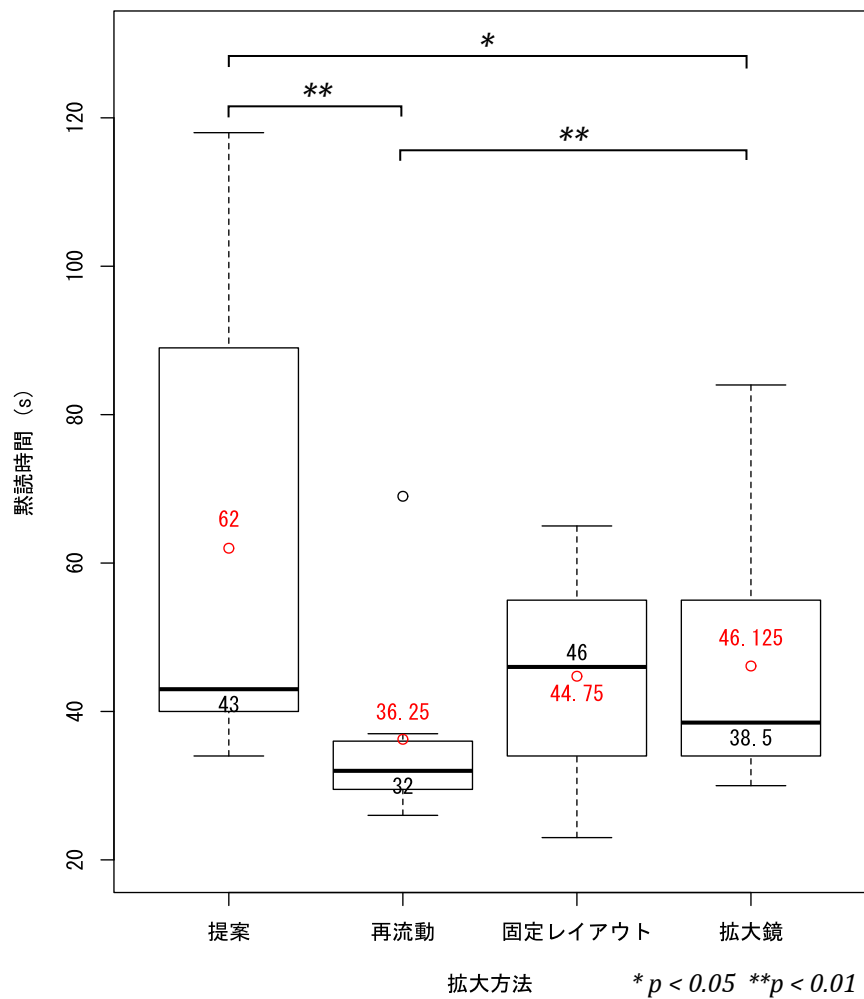


図 4.12: 各表示形式, 拡大方法ごとの黙読時間

全体が見えない老視者にとって有効な提案手法であり, 読み心地を改善できると結論付ける. なお, それぞれの人に合わせた拡大範囲や, 操作性の向上は今後の課題として挙げられる.

表 4.1: 質問1「拡大前と拡大後の文章の読み心地」の結果

拡大の種類	提案手法	再流動型	固定レイアウト型	拡大鏡
評価	4.125	4.625	3.75	3.5625

表 4.2: 質問2「拡大後の黙読目的位置の探索が容易かどうか」の結果

拡大の種類	提案手法	再流動型	固定レイアウト型	拡大鏡
評価	4.3125	3.875	3.25	3.8125

表 4.3: 質問3「将来的に利用するかどうか」の結果

拡大の種類	提案手法	再流動型	固定レイアウト型	拡大鏡
評価	4.125	3.9375	3.4375	3.25

第5章 むすび

老視者は眼の調節能力が低下しており、ピントが合う位置が遠ざかる。老視者がスマートフォンなどの小さな画面上で電子メールやニュースを見ようとする、顔に近づけるとピントが合わず、遠ざけると文字が小さくて読めないという問題が起こる。そのため、画面を遠ざけてピントを合わせた後、止むを得ず拡大をする。しかし、拡大の方法によっては最初に表示されていた部分の多くがフレームアウトする。そのため、全体を見るためにはスクロール操作が必要になる。さらに、拡大時のフレームアウトにより読書時に必要な周辺情報を失うことがあるため、老視者の快適な読書を妨げている恐れがある。そこで本研究では、老視者がスマートフォンのような小さな画面で表示を拡大する際に生じるこれらの問題の解決方法を考えた。最初に、固定レイアウト型表示での拡大、再流動型表示での拡大、拡大鏡を使用した拡大について調べ、それぞれの拡大方法を使用した際の黙読時間と読み心地を調査した。そして、黙読時間が増加せず、読み心地が低下しない条件を整理した。この条件と人の読書時における情報収集の特性から、スマートフォンのような小さな画面で固定されたレイアウトの文章を拡大する際に、通常の拡大ではフレームアウトされる周辺情報を、あえて縮小して残すような部分ズーム手法を提案した。この提案では、拡大してもスクロールが不要なく、また周辺情報の収集も十分な範囲で行えると考えられる。本研究では、PDF ファイルやレイアウトの固定された Web サイトの拡大を想定して、文章だけではなく画像に対しても部分ズーム手法を適用させた。そして、文章と画像双方が表示されている実験システムを作成し、動作確認を行った。また、提案手法によって老視者の読み心地が向上するかどうかを確かめるために、各表示形式や拡大鏡使用における拡大と提案手法を用いた拡大を比較して、読み心地がどのように変化するか調査した。その結果、スマートフォンのような小さな画面に長文が表示されているような状況では、読みたいところを部分的

に拡大でき、かつフレームアウトしないため全体も一望できる提案手法の有効性を確認できた。また、調査を通じて拡大文字数、拡大方向や、操作方法への改善点を見出すこともできた。

今後の課題の一つは、拡大範囲の改善である。人の視野は本来左右非対称であり、また読みにおける視野も非対称であることが明らかになっている [30]。そのため、日本語では注視点の左側よりも右側に多くの文字が提示された方が読みの速度が上がる。今回の手法では左右対称に拡大させたが、実際にシステムを利用した人からは、これから読まれる右側を縮小しないで欲しいという意見があった。そのため、読みの方向である右側の拡大文字数を増やし、左側の拡大文字数を減らせば、より老視者にとって利用しやすい部分ズームになると考えられる。また、最終的には老視者が拡大したいと思った箇所を、本手法を用いて部分的に、自動で拡大することも考えたい。例えば視線追跡の技術と組み合わせることで、手で操作を行うことなく、注視点近傍を拡大させることができる。これにより、操作上の手間が軽減できる。

これらの課題を解決することで、老視者にとってさらに読み心地の良い部分ズームになることを期待したい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、日頃から多大な御尽力をいただき、ご指導を賜りました名古屋工業大学，舟橋健司 准教授，伊藤宏隆 助教に心から感謝致します。また，日頃から研究に関して議論を重ねご協力いただいた舟橋研究室所属の学生の皆様に深く感謝致します。最後に，本研究の実験にご協力いただいた全ての皆様に厚く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] “総務省 | 平成 30 年版 情報通信白書 | インターネット利用の広がり”,
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd142110.html>,
 2019 年 11 月 30 日参照
- [2] “総務省 | 令和元年版 情報通信白書 | インターネットの利用状況”,
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r01/html/nd232120.html>,
 2019 年 12 月 8 日参照
- [3] 中澤満・ほか編, “標準眼科学”, 第 14 版, 医学書院, 2018.
- [4] 松本富美子・ほか編, “光学・眼鏡”, 医学書院, 2018.
- [5] R. Leitao, P. A. Silva, “A Study of Novice Older Adults and Gestural Interaction on Smartphones”, *3rd Workshop on Mobile Accessibility CHI'13*, 2013.
- [6] Yuki Satake, Kenji Funahashi, “Automatic Display Zoom Using Face Size of Camera Image”, *ICAT-EGVE 2016*, pp.1-2, 2016.
- [7] Huiyi Fang, Kenji Funahashi, “Automatic Display Zoom for People Suffering from Presbyopia”, *ACM SIGGRAPH 2018 Posters (SIGGRAPH '18)*, Article No.51, 2018.
- [8] “JEPA | 日本電子出版協会 フィックス型電子書籍とは?”,
https://www.jepa.or.jp/ebookpedia/201508_2551/, 2020 年 1 月 5 日参照
- [9] 成田有希, 小林大二, 山本栄, “高齢者がネットワークを利用するときの使用性に関する一考察”, 人間工学, Vol. 37, pp. 544-545, 2001.
- [10] 濱本和彦, “高齢者のための web デザインとユーザビリティ評価に関する検討”, 情報処理学会研究報告システム評価 (EVA) , Vol. 11, pp. 13-18, 2004.

- [11] Arthur D. Fisk, Sara J. Czaja ほか, 福田 亮子・伊藤 納奈・梅室 博行訳, “高齢者のためのデザイン: 人にやさしいモノづくりと環境設計へのガイドライン”, 慶應義塾大学出版会, 2013.
- [12] 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”, 国立国語研究所報告集, Vol. 10, pp.59-80, 1989.
- [13] 樋渡涓二, 入部 紳一郎, 鈴木 寿, “日本語文章に対する注視と認知”, テレビジョン学会誌, Vol. 37, No. 11, pp. 942-947, 1983.
- [14] 御領謙, “読むということ (認知科学選書 5)”, 東京大学出版会, 1987.
- [15] 三浦 利章, “視覚的注意と安全性”, 照明学会誌, Vol. 82, No. 3, pp. 180-184, 1998.
- [16] 美濃部隆・ほか編, “眼鏡学ハンドブック”, 第14版, 眼鏡工学出版, 2011.
- [17] 福田 忠彦, “図形知覚における中心視と周辺視の機能差”, テレビジョン学会誌, Vol.32, No.6, pp. 492-498, 1978.
- [18] Graham Rawlinson, “The Significance of Letter Position in Word Recognition”, *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, Vol. 22, No. 1, pp. 26-27, 2007.
- [19] 佐橋大, “順番が変でも意味が分かる? !”, 中日新聞, 2019年2月3日, p. 17
- [20] Huiyi Fang, Kenji Funahashi, Shinji Mizuno, and Yuji Iwahori, “Partial zoom on small display for people suffering from presbyopia”, *ACM SIGGRAPH 2019 Posters (SIGGRAPH '19)*, Article No.4, 2019.
- [21] 竹内健佑, 山本大介, 高橋直久, “Leaflet と OpenStreetMap を用いた Focus+Glue+Context マップインタフェースの開発と評価”, 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No.12, pp. 2221-2231, 2018.
- [22] “JEPA | 日本電子出版協会 リフロー型電子書籍とは?”, https://www.jepa.or.jp/ebookpedia/201508_2553/, 2020年1月5日参照

- [23] 織田作之助, “終戦前後”,
https://www.aozora.gr.jp/cards/000040/files/46352_26687.html, 2020 年 1 月 14 日参照, 本文献の底本: 織田作之助, “定本織田作之助全集 第八巻”, 文泉堂出版, 1976.
- [24] 小山清, “犬の生活”,
https://www.aozora.gr.jp/cards/001867/files/1783_66075.html, 2020 年 1 月 17 日参照, 本文献の底本: 小山清, “落穂拾い・犬の生活”, 筑摩書房, 2013.
- [25] 桐生悠々, “言いたい事と言わねばならない事と”,
https://www.aozora.gr.jp/cards/000535/files/3612_20811.html, 2020 年 1 月 18 日参照, 本文献の底本: 桐生悠々, “畜生道の地球”, 中央公論社, 1989.
- [26] 宮本百合子, “「委員会」のうつりかわり”,
https://www.aozora.gr.jp/cards/000311/files/3473_12379.html, 2020 年 1 月 18 日参照, 本文献の底本: 宮本百合子, “宮本百合子全集”, 河出書房, Vol. 12, 1952.
- [27] 初坂奈津子, 鈴屋雄輔, 河原哲夫, 佐々木洋, “中高齢者の読書速度の低下と眼球運動の関係 (視聴覚の基礎と応用, マルチモーダル, 感性情報処理およびヒューマンインフォメーション一般)”, 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 35, No. 51, pp. 75-79, 2011.
- [28] Albert Einstein, 石原純訳, “相対性理論”,
https://www.aozora.gr.jp/cards/001428/files/50328_64360.html, 2020 年 1 月 24 日参照, 本文献の底本: Albert Einstein, “世界大思想全集”, 春秋社, Vol. 48, 1930.
- [29] 寺田寅彦, “夏目漱石先生の追憶”,
https://www.aozora.gr.jp/cards/000042/files/2472_9315.html, 2020 年 1 月 24 日参照, 本文献の底本: 寺田寅彦, “寺田寅彦随筆集”, 岩波書店, Vol. 3, 1948.
- [30] 苧阪 直行・ほか編, “読み一脳と心の情報処理”, 朝倉書店, 1998.

発表論文リスト

口頭発表

1. Huiyi Fang, Kenji Funahashi, “Automatic Display Zoom for People Suffering from Presbyopia”, *ACM SIGGRAPH 2018 Posters (SIGGRAPH '18)*, Article No.51, 2018.
2. Huiyi Fang, Kenji Funahashi, Shinji Mizuno, and Yuji Iwahori, “Partial zoom on small display for people suffering from presbyopia”, *ACM SIGGRAPH 2019 Posters (SIGGRAPH '19)*, Article No.4, 2019.