

平成 29 年度 卒業論文

老視特有の顔とディスプレイの距離変化の
特徴認識と自動ズーム

指導教員

舟橋 健司 准教授

名古屋工業大学 工学部 情報工学科

平成 26 年度入学 26115135 番

方 慧宜

目 次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	眼の調節機能と調節域	3
2.1	調節力と調節域	3
2.2	正視	4
2.3	近視	4
2.4	遠視	5
2.5	老視	6
2.6	眼鏡による老視の矯正	6
第 3 章	顔とディスプレイの距離に応じた自動ズーム機能	9
3.1	顔とディスプレイの距離の推定方法	9
3.2	顔とディスプレイの距離に応じた自動ズームシステム	12
第 4 章	認識困難文字の閲覧動作の観察と特徴抽出	14
4.1	実験概要	14
4.2	実験システム	14
4.2.1	タブレット型ノートパソコン	15
4.2.2	実験用文字列表示システム	15
4.3	実験の手順	19
4.3.1	事前質問	20
4.3.2	実験説明	20
4.4	分析方法	21
4.5	結果と考察	22
4.5.1	行動観察結果	22
4.5.2	変化率観察結果	25
4.5.3	観察結果まとめ	28
第 5 章	自動ズーム機能の老視対応	29
5.1	通常ズームと老視対応ズーム	29
5.1.1	通常ズーム	29
5.1.2	老視対応ズーム	30
5.1.3	拡大縮小判定の閾値	31
5.2	老視対応ズームへの切り替え	31
5.2.1	老視判定ポイントの加点・減点	31

第 6 章 老視対応ズーム機能とその動作実験	34
6.1 自動ズーム機能の閾値	34
6.2 老視判定ポイント	35
6.3 実験および結果	36
第 7 章 むすび	43
謝辞	45
参考文献	46

第1章 はじめに

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，水晶体は年齢と共にその弾性力を失い硬化し，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と呼ぶ．正視であった人に老視の症状が出ると，ピントの合わせられる範囲が狭くなる．そして，近方視が困難になるという症状が出ることが多い．そのため，例えば細かい文字で書いてある手元の本を読もうとした場合，顔に本を近づけて読むと，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 [1]．近年は少子高齢化によって高齢者が増えていることもあり，この老視の症状に悩まされる人は年々増加していると考えられる [2]．

また，近頃はタブレットやスマートフォンなどの普及率が上昇し，様々な情報を得る上で，これらの機器を利用することは必須となりつつある．しかし，高齢者で特に老視の症状が強い人にとっては，先ほど本で例を挙げた問題はもちろんタブレットでも起こりうる．つまり，高齢者がタブレットやスマートフォンを使おうとしても，画面上の情報を正しく取得できない，あるいは取得しづらいという問題が起こる．この場合ピンチ操作によってズームをすることができるが，操作に慣れていない高齢者にとっては難しく，手間がかかると考えられる [3]．

ところで，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を提案している [4]．人は，例えば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てから観察する．逆に全体を観察しようと思えば，視野を広げるため対象物から顔を遠ざける傾向にある．従来の研究ではこの特性を利用し，利用者がタブレット画面を見ている

際に適切なズームを自動で行う手法を提案している．実験システムでは，カメラを用いて顔とディスプレイの距離を測っている．具体的には，カメラで撮影した利用者の顔の，カメラ画像上での両眼の中心座標の距離から間接的に計測している．この距離が近づいたと判断されたら画面の表示を拡大し，遠ざかったと判断されたら縮小するというものである．また，画面を動かす速度により，ズーム速度も変化させて拡大または縮小を適切な度合いで行っている．

そこで本論文では，この自動ズーム機能を応用して，老視の症状によって，タブレットが使いづらいという問題を解決することを考える．例えば，先に例を挙げた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は，ピントを合わせるために顔を遠ざけるという動作をした際に，画面上の表示を自動で拡大することで解決する．また，この他にも老視特有の動作を認識することで，適切な拡大縮小を行う．ただし，老視の利用者でも全体像を把握したいために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，老視症状に起因する動作と，そうではない通常の動作を比較することでその境界を見極め，通常のズームと老視対応ズームを自動的に区別したい．

本研究では，まず利用者に老視の症状がある状態で，どのような場合にどのようにして画面に顔を近づけるか，あるいは遠ざけるかを調べる．そのため実験では，老視の症状が顕著に出る状況を設定し，観察を行う．この観察を元に，老視の症状がある時のタブレット画面の見方，動かし方を調べる．また，老視特有の動作とそうでない動作を区別する閾値を検討する．これらの結果を元に，従来の条件での通常のズームを実現しつつ，必要な時に老視に対応したズームを行うシステムを提案する．

以下本論文では，2章に眼の調節機能について，3章では顔と画面の距離の推定方法と関連研究について説明をする．これらを踏まえた上で，4章では実際に行った，認識困難文字の閲覧動作の観察方法とその分析結果，考察を述べる．5章では観察結果をもとに自動ズーム機能の老視対応手法を提案する．6章では作成した実験システムの説明と動作実験及び結果，そして7章で本研究のまとめと今後の課題について述べる．

第2章 眼の調節機能と調節域

本研究の具体的内容について述べる前に，本章では最初に眼の調節機能について，またそれに異常が生じた場合について説明する [5][6][7][8]．具体的には，正視の場合と，近視，遠視，そして老視の症状が現れている場合の特徴を説明し，それぞれのおおよその調節域を示す．また，老視を眼鏡によって矯正した場合についてもその特徴と調節域を述べる．

2.1 調節力と調節域

最初に，調節力と調節域について説明する．調節力は焦点距離 (後述) の逆数で表され，その単位は D である．この調節力は加齢によって減少する．個人差もあるが，20代では約 $10D$ ，30代では約 $7D$ ，50代ごろには約 $2D$ となり，65歳前後でほぼ $0D$ となる．この調節力の低下を一般に老眼，また医学分野では老視という．調節域とは，調節によってピントが合う範囲のことである．この調節域の中でピントが合う最も近くの位置を焦点距離もしくは近点，最も遠くの位置を遠点と呼ぶ．調節力を最大にした場合は近点にピントが合い，逆に無調節の場合は遠点にピントが合う．近点は調節力によって計算でき，その計算方法を式 2.1 に示す．

$$\text{近点 (cm)} = 100(\text{cm}) \div \text{調節力 (D)} \quad (2.1)$$

また，近視，遠視の近点の計算は調節異常の度数を追加して式 2.2 の様に計算する (文献 [6], p.53)．

$$\text{近点 (cm)} = 100(\text{cm}) \div \{ \text{調節力 (D)} - \text{屈折力 (D)} \} \quad (2.2)$$

これより，正視，近視，遠視そして老視について，それぞれの特徴とその調節域を説明する．またそれぞれの調節域を計算し，正視，近視そして遠視の場合は図 2.1

に，老視の場合は図 2.2 に示す．なお，調節域は度数や調節力によって個人差があり，本論文で示されている調節域は一例である．

2.2 正視

人は眼に入射する光が網膜面で結像できるように，角膜と水晶体で光を屈折させる．屈折に異常があると，網膜面で光が焦点を結ぶことができず，対象物をはっきりと見ることができない．このような症状を屈折異常，または調節異常と呼び，主に近視，遠視そして老視がこれに当てはまる．この屈折異常が無い状態の眼が正視である．正視では，無限遠点から眼に入射された光が，無調節で網膜面上で結像する．よって，正視の場合の調節域は遠点が無限遠となる．また，調節力を使うと近方から遠方まではっきりと見ることができる．20代で調節力が $10D$ として式 2.1 から計算をすると，近点は式 2.3 より顔から 10cm 程度となる．よって調節域は，図 2.1(a) に示すように顔から 10cm 以降となる．

$$\begin{aligned}\text{近点 (cm)} &= 100(\text{cm}) \div 10(D) \\ &= 10(\text{cm})\end{aligned}\tag{2.3}$$

2.3 近視

近視とは，無限遠点から眼に入射された光が，無調節だと網膜面よりも前で焦点を結んでしまう状態のことをいう．近視の症状がある場合，近方の対象物にピントを合わせやすい．しかし，遠方にある対象物にピントを合わせるには凹レンズを使用するか，対象物に近づく必要がある．近視の場合の調節域は，遠点は無限遠ではなく有限な距離となり，近点は正視の場合より近くなる．20代で調節力が $10D$ ， $-2D$ の近視の場合を式 2.2 から計算すると，式 2.4 より，近点が顔からおよそ 8.3cm となる．また遠点は， $-2D$ の近視ではおよそ 50cm となる．よって調節域は，図 2.1(b) に示すように顔から 8.3cm から 50cm の間となる．

$$\begin{aligned}\text{近点 (cm)} &= 100(\text{cm}) \div \{10(D) - (-2D)\} \\ &\simeq 8.3(\text{cm})\end{aligned}\tag{2.4}$$

2.4 遠視

遠視とは、眼に入射された光が、無調節で網膜面よりも後ろで焦点を結んでしまう状態のことをいう。遠視の症状がある場合、入射した光が網膜面で焦点を結ぶよう、遠くを見る場合は少し、近くを見る場合はかなり調節する必要がある。つまり、近方視、遠方視の場合のどちらでも調節が必要になる。凸レンズを使用すると、入射された光が無調節の場合より手前で焦点を結ぶようになるため、遠視の症状が改善される。遠視の場合の調節域は、無調節でピントが合うところがないため遠点はなく、近点は正視の場合より遠くなる。20代で調節力が $10D$ 、 $+2D$ の遠視の場合を式2.2から計算すると、式2.5より、近点が顔から 12.5cm となる。よって調節域は、図2.1(c)に示すように顔から 12.5cm 以降となる。

$$\begin{aligned}\text{近点 (cm)} &= 100(\text{cm}) \div \{10(D) - (2D)\} \\ &= 12.5(\text{cm})\end{aligned}\tag{2.5}$$

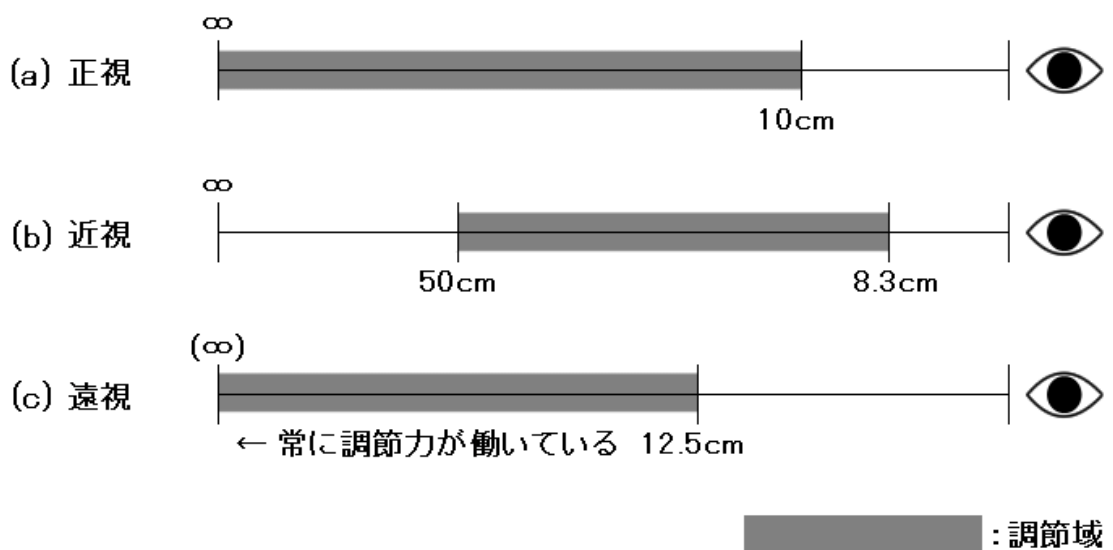


図 2.1: 20代 ($10D$) の屈折状態ごとの調節域

2.5 老視

老視とは、加齢に伴い水晶体の弾性力が低下し、調節力が減少した状態のことをいう。一般的に遠視と老視は同一視しされやすいが、遠視は調節力が働けば近方、遠方にピントを合わせることができる。しかし、老視は加齢によって調節機能が低下しているため、調節力が働かず調節域が狭まる。50代で調節力 $2D$ (老視) の正視の場合を考えると、遠点が無限遠のままだが、近点を式 2.1 から計算すると、式 2.6 より 50cm となる。よって調節域は、図 2.2(a) に示すように顔から 50cm 以降であり、20代正視の場合と比較すると、近点が 40cm 遠くなっていることがわかる。

$$\begin{aligned}\text{近点 (cm)} &= 100(\text{cm}) \div 2(D) \\ &= 50(\text{cm})\end{aligned}\tag{2.6}$$

調節力 $2D$ (老視) で $-2D$ の近視の場合を計算すると、遠点は 50cm と変わらないが、近点を式 2.2 から計算すると、式 2.7 より 25cm となる。よって調節域は、図 2.2(b) のように顔から 25cm から 50cm の間となり、こちらも20代近視の場合と比べて調節域が狭くなっている。

$$\begin{aligned}\text{近点 (cm)} &= 100(\text{cm}) \div \{2(D) - (-2D)\} \\ &= 25(\text{cm})\end{aligned}\tag{2.7}$$

遠視の場合は老視の程度にもよるが、調節力 $2D$ (老視) で $+2D$ の遠視の場合は図 2.2(c) のように調節域がなくなる。つまり、どの位置でもピントが合わないということになる。

2.6 眼鏡による老視の矯正

では、老視の症状がある場合に眼鏡で矯正を行うと、調節域がどのように変化するかを説明する。今回は、調節力 $2D$ (老視) で、 $+2D$ の老眼鏡をかけたとして調節域を計算し、図 2.3 に示す。

老眼鏡をかけると、調節域を利用者がはっきり見たいと思っている手元に合わせることができる。しかし、調節域を広げているわけではないため、実際は目的の距

離に合わせた眼鏡に変える必要がある。正視の場合に老眼鏡をかけると、近点は調節力に老眼鏡の度数を加え計算するため、式 2.8 より 25cm となる。

$$\begin{aligned}\text{近点 (cm)} &= 100(\text{cm}) \div \{2(D) + 2(D)\} \\ &= 25(\text{cm})\end{aligned}\tag{2.8}$$

また $2D$ の老眼鏡であるため、遠点は 50cm となる。老眼鏡をかけていない場合と比べて近方にピントが合わせられるようになっており、老眼の症状が改善されていることがわかる。これは遠視の場合も同様であり、老眼鏡をかけると調節域が近方に移動し、近方視が可能となる。

近視の場合は、調節域が狭まっても近方に近く、老眼鏡をかける必要性があまりない。逆に、遠方視が困難であるため、老眼鏡ではなく近視眼鏡を利用している人も多い。また、近方視と遠方視の両方を可能にした遠近両用眼鏡を利用する場合もある。この場合、調節域はレンズのどの部分を見るかによって変化する。

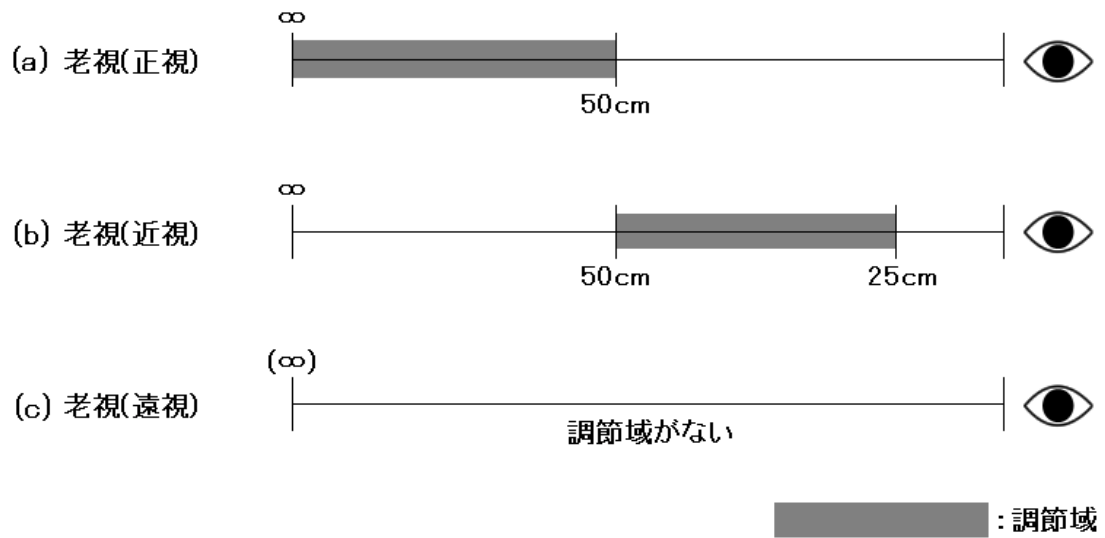


図 2.2: 50 代 (2D) の屈折状態ごとの調節域

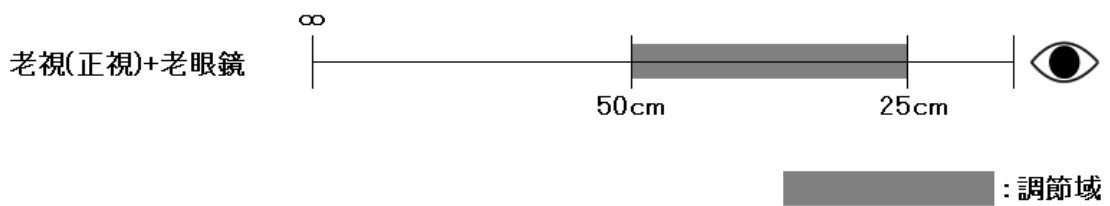


図 2.3: 老眼鏡による矯正後の調節域

第3章 顔とディスプレイの距離に応じた自動ズーム機能

ここでは、本研究の関連研究である、顔とディスプレイの距離に応じた自動ズーム機能について説明する [4]。具体的には、最初に顔とディスプレイの推定方法について説明する。そして、その距離の変化に応じた自動ズーム機能について述べる。

3.1 顔とディスプレイの距離の推定方法

顔とディスプレイの距離は、デプスセンサを用いて測定することができる。近年は、Microsoft 社の kinect など安価に入手できるデプスセンサもある。デプスセンサを備えたスマートフォンの普及も予想されるが、ここでは、ほぼすべてのタブレットやスマートフォンに搭載されている内側向きのカメラを利用することを考える。具体的には、カメラで撮影した利用者の顔の、カメラ画像上での両眼の中心座標の距離から間接的に計測する。以下では、カメラ画像上での両眼の中心座標の距離を画像両眼距離という。

最初に、顔とディスプレイの距離と画像両眼距離の関係について述べる (図 3.1)。これは、カメラが顔から距離 d だけ離れている際にカメラに映る範囲を模式的に表した図である。実際の両眼の中心座標の距離を e 、カメラの画角を θ とする。この e は撮影している人物が変わらない場合には定数であり、また θ はカメラが変わらなければ定数である。距離 d にある顔を含む平面におけるカメラの撮影可能範囲の横幅 $w(d)$ は次式 3.1 で表せる。

$$w(d) = 2d \tan \theta \quad (3.1)$$

ここで、 $w(d)$ 内における e の占める割合 r は次式 3.2 で表せる.

$$\begin{aligned} r &= \frac{e}{w(d)} \\ &= \frac{e}{2d \tan \theta} \end{aligned} \quad (3.2)$$

また、画面に表示されるカメラ画像の横幅を w_p とすると、画像両眼距離 e_p は次式 3.3 で表せる.

$$\begin{aligned} e_p &= w_p r \\ &= \frac{w_p e}{2d \tan \theta} \end{aligned} \quad (3.3)$$

ところで、 d 以外は定数であるため式 3.4 の様に α を定義する.

$$\alpha = \frac{w_p e}{2 \tan \theta} \quad (3.4)$$

すると、式 3.3 は式 3.5 の様に表せる.

$$e_p = \frac{\alpha}{d} \quad (3.5)$$

式 3.5 から画像両眼距離 e_p は、カメラと顔の距離 d に反比例することがわかる. これにより、画像両眼距離から式 3.5 でカメラからの距離を推定することができる. ただし、反比例の比例定数はカメラの画角、カメラで撮影された画像の幅、そしてカメラに映っている人物の実際の両眼の中心座標の距離によって決まる. そのため、比例定数は撮影する環境や撮影される人物によって変わる.

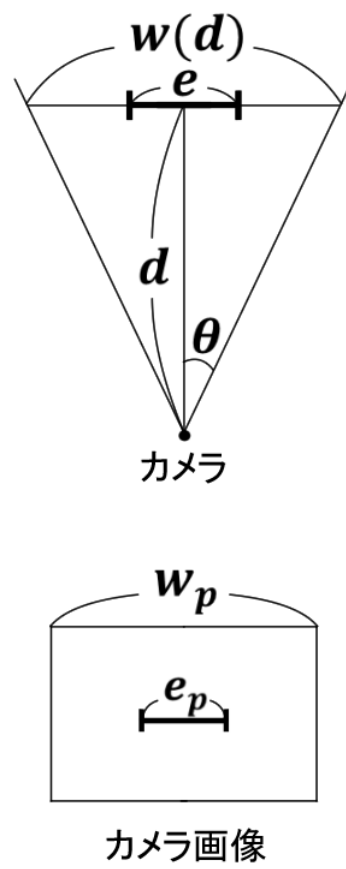


図 3.1: カメラの撮影範囲と撮影されたカメラ画像の模式図

3.2 顔とディスプレイの距離に応じた自動ズームシステム

前節で顔とディスプレイの距離は画像両眼距離に反比例することを説明した。つまり、画像両眼距離が小さくなるということは顔がディスプレイから遠ざかったと、逆に画像両眼距離が大きくなると近づいたと判断できる。

まず、OpenCV の標準ライブラリを利用して眼認識を行い、両眼それぞれの中心座標を得る。ある時刻 t における左右それぞれの眼の中心座標を $\{x_1(t), y_1(t)\}$, $\{x_2(t), y_2(t)\}$ とする (図 3.2)。認識誤差に対応するため、これらの中心座標を一定時間 T の間取得し、その平均 $\{X_1(t), Y_1(t)\}$, $\{X_2(t), Y_2(t)\}$ より画像両眼距離 $e_p(t)$ を次式 3.6 のように得る。

$$e_p(t) = \sqrt{\{X_2(t) - X_1(t)\}^2 + \{Y_2(t) - Y_1(t)\}^2} \quad (3.6)$$

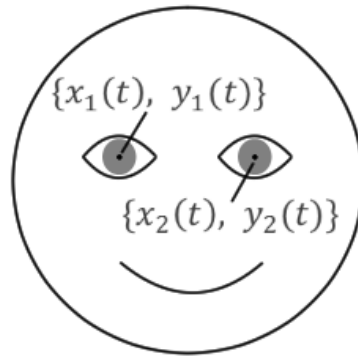


図 3.2: 両眼の中心座標

このようにして一定時間ずつ平均を取り画像両眼距離を取得していく。現在の時刻 t におけるその変化の割合 $v_T(t)$ を式 3.7 に示す通りに求める。

$$v_T(t) = \frac{e_p(t)}{e_p(t-T)} \quad (3.7)$$

この割合 $v_T(t)$ より、一定時間 T ごとのカメラと顔との距離の変化率を知ることができる。この $v_T(t)$ が 1 の時もしくは 1 に近い時は、カメラと顔との距離の変化が少ない。逆に 1 から離れるほど、変化が大きい。そのため、 $v_T(t)$ は顔を動かす速度を表しているとも言える。

実験システムでは，この変化の割合 $v_T(t)$ が一定閾値内であれば拡大，縮小をすることにより，誤差による不要なズームや，姿勢を直すなどの大きな動作による不要なズームを抑制している．また，その拡大縮小倍率 s は $v_T(t)$ に等しい．つまり，速く顔を近づければズームも速くなり，逆に遅く顔を近づければズームも遅くなる．この拡大縮小処理は，システムが次の画像两眼距離の平均を計測，計算している際に，段階的に実行される．

本論文では，このような自然な動作をもとに適切な自動ズームを実現する手法を，老視症状のある利用者にも拡張することを考えている．次章以降では，老視症状のある利用者がどのような特徴的な動作をするのか考察し，本章で述べた動作に加えて新たに見出した老視による動作でも適切なズームが行われるシステムについて述べる．

第4章 認識困難文字の閲覧動作の観察と特徴抽出

ここでは、老視の症状がある利用者が認識困難な文字などが表示されたタブレットを閲覧する際に、どのように画面を動かすのか調べるための観察実験の方法とその結果を述べる。まず実験の目的と実験システムの構成について説明し、続いて実験により得られたデータから特徴を考察する。

4.1 実験概要

本実験では、タブレットやPCの画面を見ている老視の利用者が、見えない、もしくは見づらいと感じた時に、どのように顔と画面の距離を変化させるのか調査する。そこで、老視である被験者にあえて見づらい状況下での音読を行ってもらい、その際に被験者がどのような行動を取るのか、そしてその行動に共通点があるのか分析する。この実験から、老視特有の動作であるのか、それ以外の動作であるのか判断する閾値について検討し、通常のズームと老視に対応したズームをどのように区別し実行するのか考える。

実験には、老視の症状がある男性11名と老視症状のない男性3名に協力を頂いた。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 実験システム

最初に、実験に用いる道具や作成したシステムの説明を行う。この実験は、タブレット型ノートパソコンと、そこに構築した実験用文字列表示システムにより行う。

4.2.1 タブレット型ノートパソコン

今回の実験は、CPU は Intel Atom CPU Z2760 1.80GHz で OS が Windows 10 のタブレット型ノートパソコンを用いて行う。タブレット型を選んだ理由としては、被験者が自身の手で画面を動かせるため、ピントを合わせるための行動を積極的に行えると考えたからである。

4.2.2 実験用文字列表示システム

これより、html と JavaScript で作成した実験用の文字列表示システムの仕様を説明する。

最初に、システムの全体の構成を説明する。このシステムは以下に示す2種類の文字列を表示する。

1. 最小探索：被験者の最小可読文字サイズ(後述)を探すための文字列を表示する部分
2. 動作記録：最小可読文字サイズを基準に文字サイズが変化する文字列を表示する部分

また、最小可読文字サイズを次のように定義する。最小可読文字サイズとは、人がどんなに目を凝らしても、顔と画面の位置を調節しても、全くその文字を推定できない文字サイズの1pt大きい文字サイズとする。なお、本論文では文字サイズの単位は全てptとする。また、小数点以下は考えないものとする。この文字列表示システムでは、16進数カラーコードで背景色は#5c5c5c、文字色は#505050と統一している。図4.1に色の見本と、その表示例を示す。どちらも黒系統であり、コントラストの低い組み合わせである。表示例の中央に書かれている「あいうえお」という文字列を見ると、白背景の中に黒文字がある場合に比べて認識が困難であることがわかる。これは、老視の症状がより顕著に表れるようにするための設定である[9]。この色とコントラストの差は、4名の老視の症状がある被験者に予備実験として何種類か色を変えて試してもらい、適度に読みづらいものを採用した。なおこの設定は、実験に使用したタブレット画面の解像度の特性上、小さな文字を表示した時に

老視の影響で読めなくなる前に、表示自体が潰れてしまうことで読めなくなるためである。

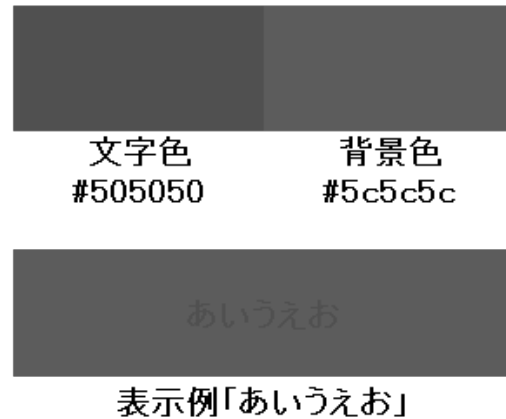


図 4.1: 実験画面の文字色と背景色

続いて、この文字列表示システムの2種類の機能について詳しく説明する。

最小探索

この機能は、次に説明する動作記録機能において表示される文字列の、その人に合った基準サイズとなる最小可読文字サイズを決めること、そして被験者が普段タブレット画面を見る際にとる大よその位置を探ることを目的としている。最小探索機能の画面を図4.2に示す。なお、論文紙面上では、以降の図も含め、見やすいようにコントラストを上げており、実際に実験に使った画面とは背景色と文字色が異なる。この画面には20ptから5ptまでのフォントサイズの文字を、1行ずつ並べている。各行には意味のない3文字のひらがなが羅列してあり、これを音読させて、被験者の最小可読文字サイズを探す。意味のない文字を羅列させたのは、何と無しに読まれることを防ぎ、被験者が文字をきちんと認識し音読できているかを確認するためである。

動作記録

この機能は実験の主要部で使用する部分であり、音読のための意味のない文字列を表示することを目的としている。動作記録機能実行の開始時(図4.3)において、最

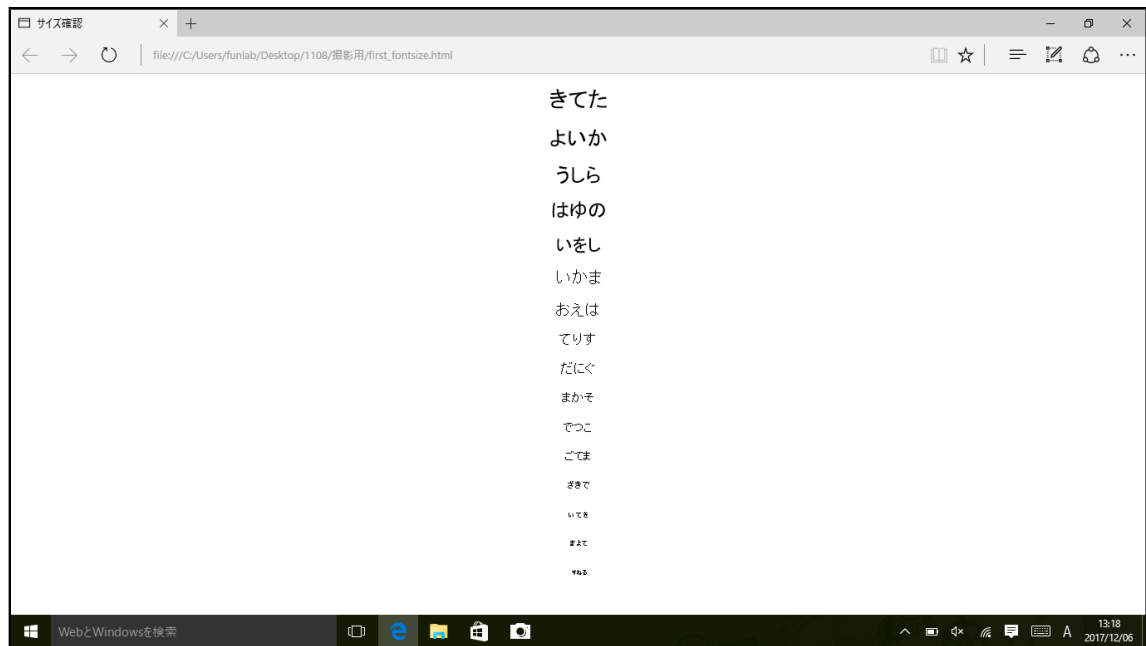


図 4.2: 最小探索音読用文字列の表示画面

小探索で調べた最小可読文字サイズを入力すると、音読用の文字列表示をする画面(図 4.4)に移行する。この画面の上部中央に、音読してもらう文字列が表示される。この図 4.4 では、「ぐずに」という文字列が表示されている。また図 4.4 に示す右側に表示される赤いボタンを押すと、表示されている文字列が切り替わる。

この文字列は、最小可読文字サイズを含めた計 5 種類の文字サイズにより表示する。使用する文字サイズ 5 種類のうち最小可読文字サイズと他の文字サイズとの差を、数直線で表したものを図 4.5 に示す。図 4.5 の通り、最小可読文字サイズ自身とそのサイズから -2pt , -4pt 小さなサイズ、そして $+4\text{pt}$, $+6\text{pt}$ 大きなサイズの文字を実験で使用する。最小可読文字サイズから $+4\text{pt}$, $+6\text{pt}$ の文字サイズは明らかに読めると思われる文字サイズ、 -2pt , -4pt の文字サイズは読めない事が想定される文字サイズである。図 4.5 では拡大縮小部分が 0pt である最小可読文字サイズを、読めるか否かの境界線として位置付けている。これは、読めるサイズと読めないサイズの文字列を交互に繰り返し表示させることにより、被験者がより頻繁に顔と画面の距離を変化させると考えたからである。なお、この最小探索機能で計測した最小可読サイズは推定値であり、音読する文字が異なる場合などには変動する事が予

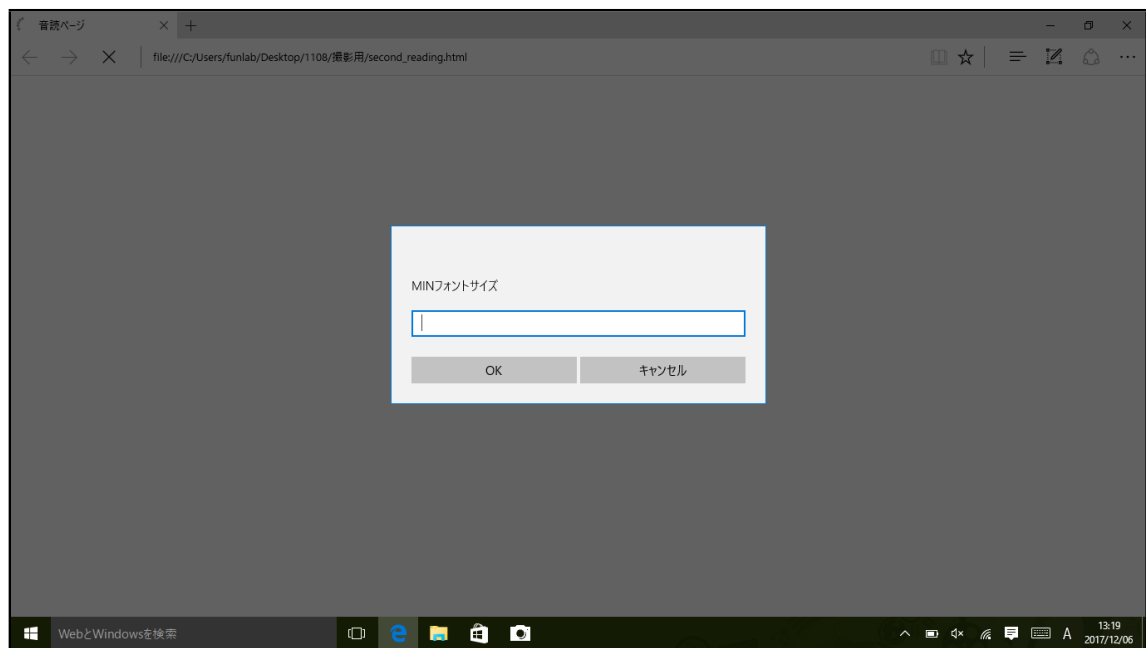


図 4.3: 最小可読文字サイズの入力画面

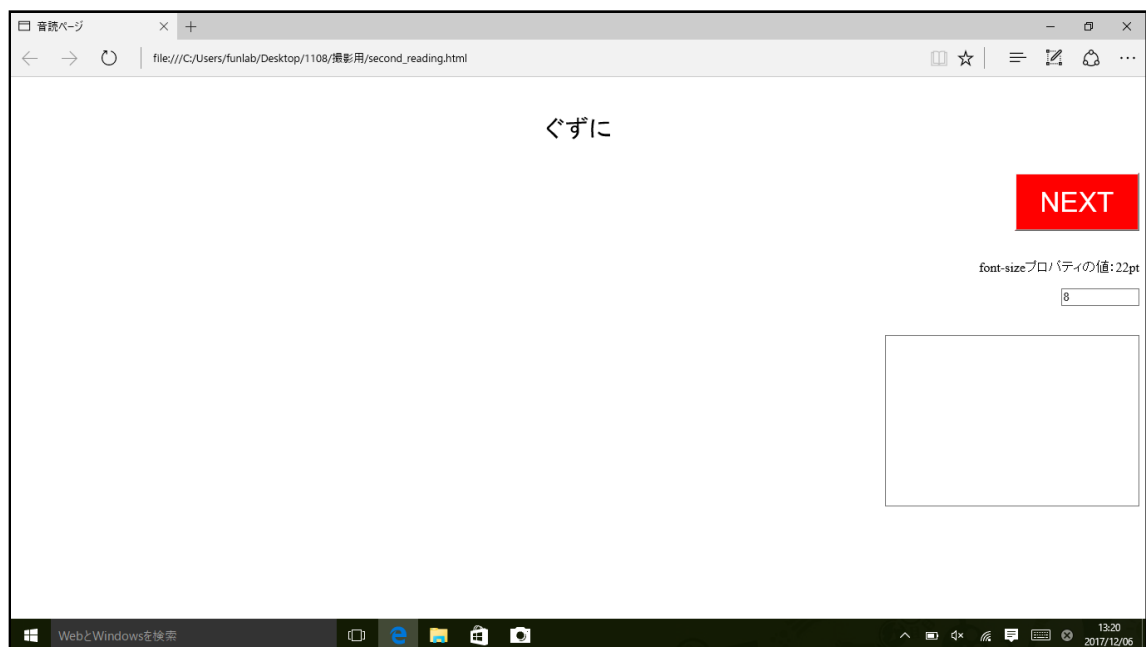


図 4.4: 動作記録音読用文字列の表示画面

想される．そのため，実際には -2pt から $+4\text{pt}$ までの間に境界が存在しており，またその境界も定まてはいないと考えられる．なおこれらの文字サイズの差も，予め4名の方に予備実験を実施して決定したものである．

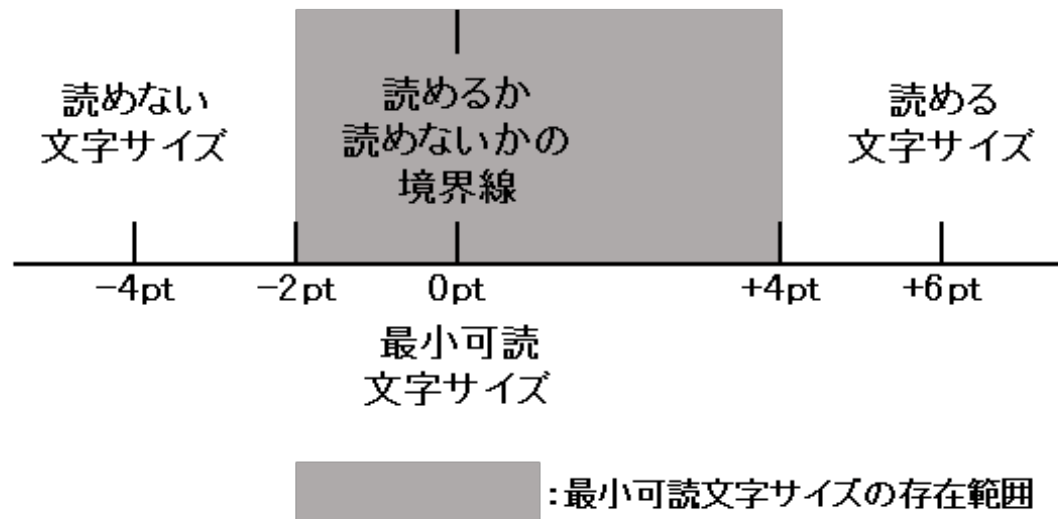


図 4.5: 最小可読文字サイズとその周辺の数直線

文字サイズの変化例を示すと，最小可読サイズが 9pt の場合は， 15pt ， 5pt ， 12pt ， 9pt ， 12pt ， 7pt ， \dots ，と文字列が変わるごとにサイズを変化させる．これを，被験者が5分程度で音読を終えられるように，37の文字列を大小様々な文字サイズで表示する．この試行の中には，大きな文字から小さな文字への変更と，小さな文字から大きな文字への変更のそれぞれが18回ずつ含まれている．

4.3 実験の手順

次に，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，前節で述べた実験用のシステムを用いて，被験者に画面に表示されている文字列を音読してもらう．その際にタブレットを見る被験者の顔を，内側向きのカメラで撮影する．これは後の分析で，顔と画面の距離の変化や表情の変化を見るのに利用する．まず最小探索機能により被験者の最小可読文字サイズを得た上で，カメラにより動作記録を行う．

4.3.1 事前質問

実験を開始する前に、以下の2点について事前に質問する。

質問1 現在の視力と近視や遠視の有無

質問2 常時使用している眼鏡(コンタクト)の有無とその種類

質問1, 2より、実験中被験者が眼鏡を使用すべきか否かを判断する。実験当日の具体的な対応を表4.1に示す。なお、遠視、および遠視用眼鏡使用者はいなかった。2章で述べたように、正視から老視になった場合は、手元が見えないという症状が既に出ているため、裸眼で実験を行う。近視から老視になった場合は、手元が比較的明瞭に見えるため、実験時には近視眼鏡をかけてもらう。これにより、明確に老視の症状下において実験を行う。遠近両用眼鏡の場合は、遠くのピントの合う遠用部のレンズを用いてもらうことで実験を行う。老視の症状がない被験者については、全員裸眼で行う。

表 4.1: 眼の状態と常用している眼鏡(コンタクト)に応じた実験時の眼鏡(コンタクト)の有無

眼の状態	常用している眼鏡	実験時の眼鏡(コンタクト)の有無
正視	なし	そのまま実験を行う
正視	老眼鏡	老眼鏡(コンタクト)を外して実験を行う
近視	老眼鏡	老眼鏡(コンタクト)を外して実験を行う
近視	近視眼鏡	近視眼鏡(コンタクト)をかけたまま実験を行う
近視	遠近両用眼鏡	眼鏡(コンタクト)をつけたまま、実験中は遠用部レンズのみを使用して実験を行う

4.3.2 実験説明

質問に続いて実験の説明に入る。最初に実験全体を通しての、タブレットの移動について説明をする。今回の実験は視力検査ではないため、文字列が見つらいと感じた場合は、タブレットを動かす、目を凝らす等は自由に行って良いと伝える。しかし後の分析のため、両眼がカメラの撮影範囲内から出ないように注意してもらう。また実験においては、読み間違いがあっても構わないことをあらかじめ伝える。

最小探索

最初に最小探索機能を使用した音読実験を行う。実験では、被験者に画面上方に表示されている20ptの文字列から、下方に表示されている小さな文字列へと順に音読してもらい、文字列の中で1文字も読めなくなった所で音読を終了してもらう。そして、1文字も読めなかった文字サイズよりも1pt大きいサイズを最小可読文字サイズとして記録する。

動作記録

次の動作記録機能を使用した音読実験では、文字サイズの変化する37の文字列の音読をしてもらう。最初に、先に計測した最小可読文字サイズを入力する。その後、被験者には文字列の表示される位置と、次の文字列を表示するための赤いボタンの説明をする。加えて、表示文字列が読めない場合には、3秒ほど読むために試行錯誤してもらい、それでも読めない場合は飛ばして次に進んで良いと伝える。音読、あるいは読めずに飛ばすことを文字列37全てに対して行ったところで実験を終了する。

4.4 分析方法

実験後に行った分析の手順を説明する。最初に、老視の被験者を対象に37の文字列1つ1つに対して、新しい文字列に切り替わった時刻からその文字列が読み終わるまでを一区切りとして、実験時のビデオをもとに顔の移動の様子を観察する。そして文字列を読む際の行動を、以下の(a)から(e)のいずれかに分類する。これにより、老視被験者と正視被験者それぞれにとって、読みづらいつと感じた場合に最初になどのような行動を取ることが多いか検証する。

- (a) 画面を顔に近けた (その後静止した)
- (b) 画面を顔に近づけてから遠ざけた
- (c) 画面を顔から遠ざけた (その後静止した)
- (d) 画面を顔から遠ざけてから近づけた

(e) 画面と顔の距離が変化しなかった

次に、動作があった時刻から、画面を動かした速さをより詳しく観察する。具体的な方法としては、動画から1秒間隔ごとに画像を抽出し、その画像の両眼の中心座標を取得して画像両眼距離を計算する。これにより、動作があった部分で画像両眼距離がどのように推移しているかを観察する。また、各時刻における画像両眼距離の変化率も算出する。これにより、どのような速さで画面を顔に近づけたり遠ざけたりしたか調べる。また老視の症状がある場合と無い場合で、変化率に違いがどうか比べる。

なお分析におけるデータ数は、参加人数は老視の症状がある男性が11名であるが、そのうち1名は老視の症状を維持しつつ裸眼と乱視眼鏡の異なる場合で実験を行った。そのため、データとしては老視の症状がある場合は12種類として分析を行った。

4.5 結果と考察

4.5.1 行動観察結果

最初に、各被験者の各文字列ごとの行動を、先ほど述べた5種類のいずれか確認する。なお、1つの文字列に対して複数の行動を行った場合は最初の行動とする。その上で、全ての文字列、全ての被験者において集計する。その結果を老視被験者は表4.2、正視被験者は表4.3に示す。

先に、老視被験者の結果である表4.2を見てみると、約7割は顔と画面の距離を変えずに音読をしていたことがわかる。この動かなかった時について詳しく調べると、文字サイズが最小可読文字サイズかそれよりも大きい時の場合が多かった。つまり、読める範囲の文字サイズを音読したため、このような結果になったと考えられる。では動きがあった場合に、表4.2からどのような行動が多かったかを観察する。パターン(a)、(b)と(c)、(d)に分けてみたところ、読めない文字列が表示されると、最初に近づける行動は遠ざける行動の2倍以上であることがわかる。つまり、老視被験者は見づらいと感じると最初に画面を顔に近づける傾向にあると考えられる。また(a)と(b)を比べると、静止するよりも遠ざける回数の方が多いことがわか

る。これは見づらい文字を見ようと近づけたが、ピントが合わず認識できなかったため、遠ざけてピントの合う位置に戻したと考えられる。

次に、正視被験者の結果である表 4.3 を見る。こちらは約 8 割は顔と画面の距離を変えずに音読している。また、見づらいと感じて画面を動かすときも、パターン (a) の近づけて静止させる行動が多い。このことから老視の場合と比べると、正視被験者は見づらいと画面を近づけるだけだが、老視被験者は見づらいと近づけたり、遠ざけたりと頻繁に動かす。また動かし方も、近づけた後に遠ざける、遠ざけた後に近づけるなど、顔と画面の距離の変動回数が多いことがわかる。目視での観察でも、老視被験者は読みづらい文字が出てくると画面を動かすことが多かったが、正視被験者は画面を動かさないという印象であった。

また正視被験者は 3 名とも、画面を少し近づけると、近づけたまま次の文字列を読んでいった。そのため、実験終了後は最初より顔が画面に近くなっていた。これは、老視でないため調節域が広く、ピントを合わせやすいからであると判断できる。逆に老視被験者の場合は、遠ざける動作で近づける前の位置に画面を戻すことが多かった。これは老視のため調節域が狭く、目が疲れないピントの合う位置に無意識に戻してしまうためだと考えられる。

表 4.2: 老視被験者音読時の顔と画面の距離の変化

顔と画面の距離	回数	割合
(a) 近づいた (その後静止)	38	9%
(b) 近づいてから遠ざかった	51	11%
(c) 遠ざかった (その後静止)	19	4%
(d) 遠ざかってから近づいた	21	5%
(e) 変化しなかった	315	71%
合計	444	100%

ここで老視の場合にパターン (b) と (d) の、画面を近づけてから遠ざける、または遠ざけてから近づける場合の、動作の切り替えが行われるまでの時間のヒストグラムを図 4.6 に示す。ここでは、各文字列に対する最初の動作だけでなく、当該文字列の表示中において、動作方向が変化するごとに集計の対象としている。なお、切り替える時間の最短は 0.31 秒、最長で 6.05 秒であった。図 4.6 より 1 秒以内に動かす

表 4.3: 正視被験者音読時の顔と画面の距離の変化

顔と画面の距離	回数	割合
(a) 近づいた (その後静止)	14	12%
(b) 近づいてから遠ざかった	1	1%
(c) 遠ざかった (その後静止)	3	3%
(d) 遠ざかってから近づいた	2	2%
(e) 変化しなかった	91	82%
合計	111	100%

向きを反対に変えて画面を動かすことが多いとわかる．また，1.0 秒以上 1.5 秒未満も比較的多数あり，それより長い時間の頻度は低い．よって，老視の症状がある被験者が見づらいと感じて画面を顔に近づけた (遠ざけた) 場合，その後 1.5 秒以内に遠ざけ (近づけ) 始めると考えられる．

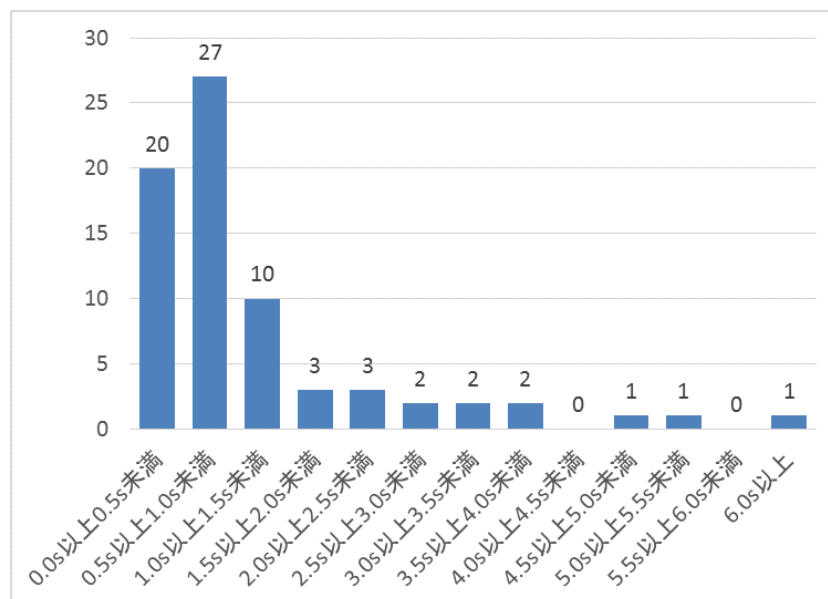


図 4.6: 画面を動かす向きの切り替えにかかった時間のヒストグラム

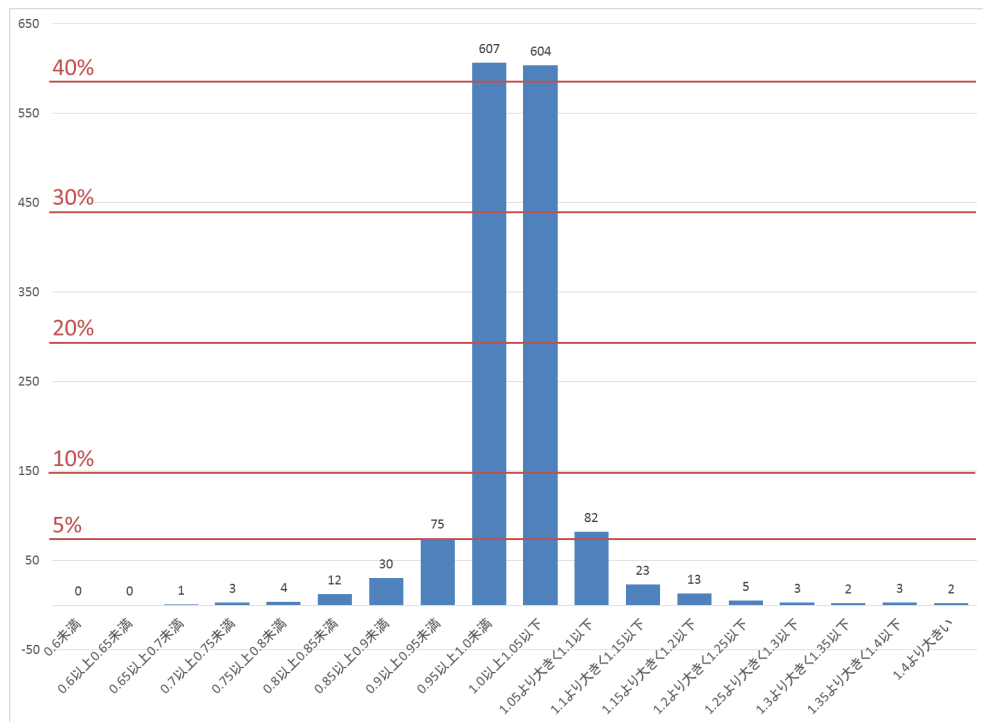
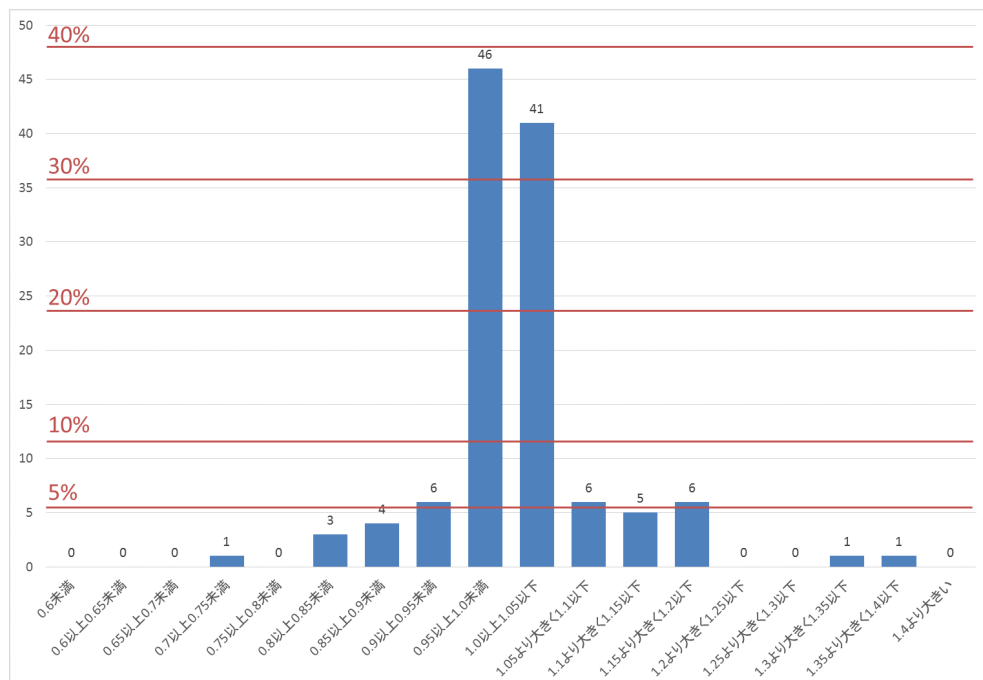
4.5.2 変化率観察結果

次に、動作があった部分に着目し、画面を動かしている速さを観察する。ある時間における老視被験者の画像両眼距離の変化を1秒ごとに集計した分布を図4.7に示す。同様に正視被験者の分布を図4.8に示す。なお、ここでは画面を動かしたときの単位時間当たりの距離ではなく、式3.7に定義した、画像両眼距離の単位時間当たりの変化率 $v_T(t)$ である。また今回は $T = 1.0$ であるため、 $v_{1.0}(t)$ と表す。変化率が1のときは画面と顔との距離が変化していない、1に近いときはゆっくり動かし、1から離れているときは速く動かしている。

図4.7からは老視被験者の画面を動かす速度とその分布がわかる。特に0.95以上1.05以下の範囲に分布が偏っており、これらを合わせると全サンプル数の約80%を占めている。そこから急激に減少し、1から離れるにつれてゆっくりと減少している。この0.95以上1.05以下とは、画面をわずかにしか動かしていない時である。画像両眼距離が1秒間に0.95倍、もしくは1.05倍になる場合、顔と画面の距離は式3.5から $1/0.95$ 倍、もしくは $1/1.05$ 倍となる。例えば、顔と画面の距離が最初30cmの場合、画面を約28.5cm地点まで近づけて、あるいは約31.5cm地点まで遠ざけている。つまり秒速約1.5cm以下で動かしている。これは、画面移動を始めたとき、終わるときのわずかな移動か、あるいは被験者の意識していない動作や計測誤差であると思われる。では図4.7の0.8以上から0.95未満と1.05より大きく1.2以下の範囲について考える。この範囲は合計すると全体の約15%を占めている。よって、実際に画面を近づけている、あるいは遠ざけていると判断できる。またこの場合、顔と画面の距離を最初30cmとすると、最大で画面を約25cm地点まで近づけて、あるいは約37.5cm地点まで遠ざけている。つまり、秒速約1.5cm以上、約6.5cm以下までとなる。それ以外の変化率が0.8未満、あるいは1.2より大きい場合について考える。頻度は全サンプル数に対して少なく、この速さでの画面移動は特徴的なものではないと判断できる。

図4.8からは正視被験者の画面を動かす速度の分布がわかる。こちらも0.95以上1.05以下の範囲に分布が偏っている。しかし、0.8以上から0.95未満と1.05より大きく1.2以下は、老視被験者の場合に比べて母数に対する割合が多いことがわかる。

特に画面を近づけた場合に当たる 1.05 より大きく 1.2 以下の範囲は、全て約 5% である。つまり正視被験者は、老視被験者と比べて 0.95 未満、あるいは 1.05 より大きい場合の頻度の減少が緩やかであることがわかる。よって、正視被験者は老視被験者に比べて画面を動かす速さにばらつきがあり、老視被験者と同等の速度で動かす場合があれば、老視被験者よりも速い速度で動かす場合もある。例えば、正視被験者は、0.7 以上 0.75 未満と 1.3 より大きく 1.4 以下の範囲では、顔と画面の距離を最初 30cm とすると、近づけた場合は最大で約 21cm 地点まで近づけて、遠ざけた場合は最大で約 42cm 地点まで遠ざけている。つまり、秒速約 10cm となり、老視被験者よりも速い。これは、正視被験者の調節力が強いため、画面をどのような速度で動かしてもピントの調節が容易であるからと考えられる。逆に老視の場合、調節力が弱いため、ピントの合う位置を確かめながら動かさなければならないと考えられる。

図 4.7: 老視被験者の変化率 $v_{1.0}(t)$ のヒストグラム図 4.8: 正視被験者の変化率 $v_{1.0}(t)$ のヒストグラム

4.5.3 観察結果まとめ

4.5.1 節と 4.5.2 節から実験結果より分かったことを表 4.4 にまとめる．表 4.4 から，最初の行動分析では，老視被験者の方が，正視被験者よりも頻繁に画面を近づけたり遠ざけたりすることが多いことがわかる．また，画面を移動させた後静止せず，近づけてから遠ざける，遠ざけてから近づけるなど複合的な移動が多く，その移動方向の変更も 1 秒前後で行われることがわかる．次に変化率を調べると，老視被験者は正視被験者に比べて画面を動かす速さが遅い．正視被験者は，老視被験者と同等の速度の時もあれば，それより早速く動かすこともある．つまり，老視の症状がある場合は，顔と画面の距離を頻繁に変化させるが，その速度は老視の症状がない場合に比べて遅い．逆に，老視の症状がない場合は，顔と画面の距離を変化させることは少なく，また画面を動かす時の速さも老視の症状がある場合に比べてばらつきがある．

この結果をもとに 5 章にて，老視の症状がある場合にも対応した，顔と画面の距離を利用した自動ズームの老視対応を考える．

表 4.4: 老視か否かの判断基準となる行動

	老視の症状があると判定できる行動	老視の症状がないと判定できる行動
顔と画面の距離	近づいたり遠ざかったりする回数が多い 画面を移動させた後元の位置に戻る 画面を動かす速度は遅い	ほとんど変わらないもしくは近づく 徐々に画面に近づく
変化率 $v_{1.0}(t)$	$0.8 \leq v_{1.0}(t) \leq 1.2$	$(0.7 \leq v_{1.0}(t) \leq 1.4)$
画面動かす速度	最大秒速約 6.5cm	(最大秒速約 10cm)

第5章 自動ズーム機能の老視対応

前節の結果と，3章で述べた自動ズーム機能をもとに，老視に対応したズームを行う手法について述べる．ただし，観察で得られた閾値を使用するため， $v_T(t)$ は $T = 1.0$ とする．3章同様に両眼の中心座標 $\{x_1(t), y_1(t)\}$ ， $\{x_2(t), y_2(t)\}$ から画像両眼距離 $e_p(t)$ と変化率 $v_{1.0}(t)$ を算出した上で，通常のズームと老視対応のズームのどちらを実行するかを選択する．

5.1 通常ズームと老視対応ズーム

詳細を見たい，もしくは全体像を見たい場合に行う通常のズームと，老視特有の動作をした場合に実行される老視に対応されたズームの2つを自動的に区別して行う．この2種類のズーム方式をそれぞれ以下のように定義する．

1. 通常ズーム：画面を顔に近づけたら画面表示を拡大，遠ざけたら縮小するズーム
2. 老視対応ズーム：老視特有の顔とディスプレイの距離変化をした場合に，通常ズームから切り替り老視の症状に対応した拡大縮小を行うズーム

これより，この2種類のズームと実行する際の閾値について説明する．

5.1.1 通常ズーム

最初に，通常ズームについて説明する．本手法では老視の症状があると判断されない限り，通常ズームを行う．通常ズームでは，顔とディスプレイの距離が近づいたと判断すると画面の表示を拡大し，逆に遠ざかったと判断すると縮小する．つまり，ある時刻 t における $v_{1.0}(t)$ が一定閾値内であれば拡大，縮小をする．この閾値は4.5.2節の結果より，わずかな移動，計測誤差と考えられる範囲を除外して考える．

よって式 5.1, または式 5.2 とする.

$$v_{1.0}(t) < 0.95 \quad (5.1)$$

$$v_{1.0}(t) > 1.05 \quad (5.2)$$

閾値が式 5.1 の時は, 顔とディスプレイの距離が遠ざかったと判断し縮小する. 逆に式 5.2 の時は, 近づいたと判断し拡大する. また, 拡大縮小倍率 s は $v_{1.0}(t)$ に等しいため, ズームの速さは画面を動かした速度によって変化する.

5.1.2 老視対応ズーム

次に, 老視対応ズームについて説明する. 老視対応ズームはある時点において利用者が条件を満たして老視の症状があると判断された時に, 一時的に通常ズームから切り替えて動作させる. 逆に, 利用者が条件を満たしていない場合は, 通常ズームを行う. この老視対応ズームは, 顔とディスプレイの距離が近づいたと判断すると画面を拡大するが, 遠ざかったと判断しても画面を拡大する. これにより, 見づらく感じて画面を近づけたがピントが合わずに, 続けて遠ざけてピントは合ったが今度は文字が小さくて読めない, という状況を解決する. また, $v_{1.0}(t)$ の閾値は 4.5.2 節の結果より, 老視の症状がある利用者が実際に画面を近づけている, 遠ざけていると判断できる値とする. よって, 式 5.3 と式 5.4 に示す範囲となる.

$$0.8 \leq v_{1.0}(t) < 0.95 \quad (5.3)$$

$$1.05 < v_{1.0}(t) \leq 1.2 \quad (5.4)$$

閾値が式 5.4 の時は, 老視の症状がある利用者が, 見づらくて画面を近づけていると判断し拡大をする. また式 5.3 の時は, 老視の症状がある利用者が, ピントを合わせるために遠ざけていると判断する. しかし, 遠ざけた後文字が小さくて見えない可能性があるため, この場合においても拡大をする. 老視対応ズームの場合の拡大縮小倍率 s は $v_{1.0}(t)$ に等しくせずに老視の度合いを示す老視判定ポイント (後述) に依存させる.

5.1.3 拡大縮小判定の閾値

図 5.1 に、式 5.1 から式 5.4 までの $v_{1.0}(t)$ の値と、その時に実行すべきズームの種類を示す。図 5.1 より、通常ズームの方が老視対応ズームより拡大縮小動作を行う範囲が広い。これは 4.5.2 節でも述べた通り、老視の症状があると、画面を動かす速さが遅く、逆に老視の症状がない場合は動かす速さにばらつきがあり、遅い時もあるれば速い時もある。

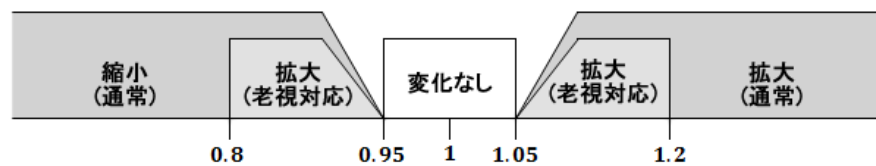


図 5.1: 変化率 $v_{1.0}(t)$ と実行するズーム

5.2 老視対応ズームへの切り替え

通常ズームからこの老視対応ズームへ切り替える条件を説明する。この老視対応ズームは、老視の症状があると判断した場合に行われる。しかし、老視症状がある場合の行動は複合的である。そのため、このシステムでは点数制を導入し、老視症状に起因する動作をした場合に加点し、それが一定点数を超えると老視の症状があると判断する。これより、点数を老視判定ポイントと定義し、ある時刻 t での老視判定ポイントを $P(t)$ とする。また老視対応ズームでの画面の拡大縮小倍率 s は、老視判定ポイント $P(t)$ とする。この老視判定ポイントは、利用者が老視症状が原因で行われるような行動をすると加点され、それ以外の行動を続けると減点される。そのため点数が大きいほど、老視の症状が強いことを表している。

5.2.1 老視判定ポイントの加点・減点

最初に、加点の条件について説明する。4.5.2 節と式 5.3, 式 5.4 より、老視の症状がある状況で画面を動かしていると判断できる $v_{1.0}(t)$ の場合に加点する。つまり、

式 5.5 と式 5.6 のどちらかを満たした時点で加点する.

$$0.8 \leq v_{1.0}(t) < 0.95 \quad (5.5)$$

$$1.05 < v_{1.0}(t) \leq 1.2 \quad (5.6)$$

次に、減点の条件について説明する．減点は加点条件以外の場合に行う．よって、1 つ目の減点条件は、老視の症状がある場合より速い速度で画面を動かす場合である．これは、式 5.7、もしくは式 5.8 のどちらかを満たすことである．

$$v_{1.0}(t) < 0.8 \quad (5.7)$$

$$v_{1.0}(t) > 1.2 \quad (5.8)$$

2 つ目の減点条件は、顔と画面の距離が一定時間変化していない場合である．ただし、顔と画面の距離が変化していない、すなわち静止している位置により利用者の状況は異なる．そこで、利用者が普段習慣的にとっている顔と画面の距離で静止している場合と、画面に顔を近づけて、あるいは遠ざけた位置で静止している場合の2種類に分ける．前者の場合は、老視の症状があまり無いと判断できる．しかし、後者の場合は、近づけた位置で見づらいものを認識しようと試みている、もしくはピントの合う位置まで遠ざけて認識しようと試みていると考えられる．つまり、現在の位置で見えなかった場合は、この後また画面を顔から遠ざける、あるいは近づけるような動作が行われると予想される．そのため、老視の症状があるか否か判断ができない．よって、顔と画面の距離が変化していない場合、画面の顔に対する位置、すなわち距離に応じて減点する．そのため、システムでは、利用者が普段習慣的にとっている顔と画面の距離も同時に測定し、この位置で静止しているか否かによって減点の度合いを決める．以下では、利用者が普段習慣的にとっている顔と画面の距離のことを習慣距離と定義する．ただし、この習慣距離はあくまで利用者が感覚的にとっている距離であり、厳密に決まっているわけではない．また、時間が経過するにつれて徐々に変化する可能性もある．よって、ある時刻 t における習慣距離を $D(t)$ と表す．ここではまず、利用者が最初にタブレットを持った際に無意識にその習慣距離に合わせると考える．その上で、習慣距離に画面があるときの画像両眼距離 $e_p(t)$ を測定し、そこから習慣距離 $D(t)$ を推定する．そこで、最初の 8 秒間の間

の画像両眼距離 $e_p(t)$ を測定し、その平均をとることで習慣距離である際の画像両眼距離を求める。この計測時間は4章の実験で、被験者がタブレットを持ってから実験の最初の文字列を表示するまでの時間の平均として経験的に定めた。しかし、この時間で必ず正確に測定できるわけではないため、それ以降も、 $e_p(t)$ が次式 5.9 を満たす全ての t に対して、 $e_p(t)$ の平均を再計算する。

$$0.95D(t) \leq e_p(t) \leq 1.05D(t) \quad (5.9)$$

また、この式 5.9 は習慣距離で静止している場合の減点条件とする。これ以外の、習慣距離ではないが静止している場合の減点条件を式 5.10 に示す。

$$0.95 \leq v_{1.0}t \leq 1.05 \quad (5.10)$$

6 章にて、この手法を用いて作成した自動ズーム機能について説明し、そしてその動作を確認する実験について述べる。

第6章 老視対応ズーム機能とその動作実験

5章で述べた手法を用いて、顔とディスプレイの距離に応じて自動ズームを行い、必要な時に老視対応ズームを行う実験システムを作成し、実験を行う。最初に、本システムでどのように手法を用いたかを詳細に説明し、その後実際に作成したシステムが正しく動作するか実験を行う。

6.1 自動ズーム機能の閾値

本システムでは、最初に左右それぞれの眼の中心座標 $\{x_1(t), y_1(t)\}$, $\{x_2(t), y_2(t)\}$ を約 0.07 秒ごとに取得し、 $T = 0.5$ 秒ごとにその平均 $\{X_1(t), Y_1(t)\}$, $\{X_2(t), Y_2(t)\}$ を求める。また、拡大縮小の判定も $v_{0.5}(t)$ をもとに行う。そこで、前節で述べた $v_{1.0}(t)$ から $v_{0.5}(t)$ を求める。最初に $v_{1.0}(t)$ を式 6.1 に示す通りに変形する。

$$\begin{aligned}
 v_{1.0}(t) &= \frac{e_p(t)}{e_p(t-1.0)} \\
 &= \frac{e_p(t)}{e_p(t-0.5)} \cdot \frac{e_p(t-0.5)}{e_p(t-1.0)} \\
 &= \frac{e_p(t)}{e_p(t-0.5)} \cdot \frac{e_p(t-0.5)}{e_p(t-0.5-0.5)} \\
 &= v_{0.5}(t) \cdot v_{0.5}(t-0.5)
 \end{aligned} \tag{6.1}$$

$v_{0.5}(t)$ と $v_{0.5}(t-0.5)$ は、実際の等速直線運動下では違う値となる。しかし、短い時間での変化率はほぼ等しいと考え、式 6.2 のように $v_{1.0}(t)$ から $v_{0.5}(t)$ を得る。

$$\begin{aligned}
 v_{1.0}(t) = v_{0.5}(t) \cdot v_{0.5}(t-0.5) &\simeq v_{0.5}(t)^2 \\
 \sqrt{v_{1.0}(t)} &\simeq v_{0.5}(t)
 \end{aligned} \tag{6.2}$$

この関係より、5章で述べた通常ズームと老視対応ズームに関する拡大縮小判定のための閾値から、 $v_{0.5}(t)$ にもとづく閾値を算出する（表 6.1）。なお、身じろぎなどの動き

で画面表示の拡大縮小を防ぐため、通常ズームでは表 4.4 に示した $0.7 \leq v_{1.0}(t) \leq 1.4$ も閾値としている。

表 6.1: $v_{0.5}(t)$ にもとづく閾値

ズーム	$v_{1.0}(t)$ の範囲	$v_{0.5}(t)$ の範囲
変化なし	$0.95 \leq v_{1.0}(t) \leq 1.05$	$0.97 \leq v_{0.5}(t) \leq 1.02$
拡大 (通常)	$1.05 < v_{1.0}(t) \leq 1.40$	$1.02 < v_{0.5}(t) \leq 1.18$
縮小 (通常)	$0.70 \leq v_{1.0}(t) < 0.95$	$0.84 \leq v_{0.5}(t) < 0.97$
拡大 (老視対応)	$1.05 < v_{1.0}(t) \leq 1.20$	$1.02 < v_{0.5}(t) \leq 1.10$
	$0.80 \leq v_{1.0}(t) < 0.95$	$0.89 \leq v_{0.5}(t) < 0.97$

6.2 老視判定ポイント

まず、通常ズーム機能においてズームを行うときの時間 T あたりの倍率 s は、 $s = v_T(t)$ としている。ここで考える老視判定ポイント $P(t)$ も、老視対応ズーム時の時間 T あたりの倍率 s としたい。すなわち老視判定ポイントは時間 T に依存させる必要があるため、以下では $P_T(t)$ と表記する。また、老視症状が見られると判断される $v_T(t)$ は、表 6.1 より $1.02 < v_{0.5}(t) \leq 1.10$ であり、これを通常ズームに当てはめて考えれば、拡大倍率は最大でも 1.10 である。これを老視判定ポイントの上限とする (式 6.3)。

$$0 \leq P_{0.5}(t) \leq 1.10 \quad (6.3)$$

また同様に拡大倍率は最低でも 1.02 である。これを、老視対応ズームに切り替えるための $P_T(t)$ の閾値とする (式 6.4)。

$$P_{0.5}(t) > 1.02 \quad (6.4)$$

老視判定ポイント $P_T(t)$ が式 6.4 を満たさない場合には、通常ズームに切り替える。

次に、老視判定ポイントの加点、減点条件と対応する点数を表 6.2 に示す。老視の症状があると判断される速度で画面を動かすと 0.5 秒毎に加点し、老視の症状がある場合より速い速度で動かしたり静止したりすると 0.5 秒毎に減点する。なお減点の種類は 2 種類とし、習慣位置に静止している場合以外は減点 (1) を適用する。こ

これらの点数は、老視症状のある場合の行動は複合的であること、また行動の途中で0秒以上1.5秒未満静止する場合が多いことを考慮して経験的に設定している。例えば、ポイント0点の初期状態から、最初の0.5秒で老視症状特有の速さで画面を近づけると+0.55加点する。するとピントが合わずに躊躇する瞬間が1秒程度までであれば、2回の減点(1)−0.03により、0.49点となる。続けて同じく特有の速さで画面を遠ざけると+0.55加点して、1.04点である。このとき式6.4を満たし、老視対応ズームに移行して、通常であれば遠ざかるとともに縮小するところを、老視用の拡大を行う。もしここで静止している時間が1秒よりも十分に長い場合は、0.5秒ごとに−0.03減点していき、その後遠ざける動作をしても1.02点以下であり、老視対応拡大は行われぬ。もちろん、近づける、あるいは遠ざける動作自体が老視特有の速さでなければ、これらにおいての加点も行われず、ポイントは閾値を超えない。また減点(2)は習慣位置での静止を対象としており、この位置は利用者にとって安定した位置と考えているため、減点(1)よりも大きく減点する。

表 6.2: 老視判定ポイントの加点・減点項目

増減	点数	条件
加点	+0.55	$0.89 \leq v_{0.5}(t) < 0.97$ $1.02 < v_{0.5}(t) \leq 1.10$
減点 (1)	−0.03	$0.97 \leq v_{0.5}(t) \leq 1.02$ $0.84 \leq v_{0.5}(t) < 0.89$ $1.10 < v_{0.5}(t) \leq 1.18$
減点 (2)	−0.06	$0.97D(t) \leq e_p(t) \leq 1.02D(t)$

6.3 実験および結果

顔とディスプレイの距離に応じた自動ズームシステムの、動作実験を行う。この実験では、以下の2つ、被験者による画面の動かし方を想定して実験を行い、期待通りのズームが実現できているか確認する。

実験1 正視の人が詳細が見たいと思い、画面を速く近づける。その後、もう一度全体を確認したいと思い、画面を離す。

実験2 老視の人が見づらい文字を見ようと画面を徐々に近づけてしばらく凝視する。

しかし、見えないため元の位置まで画面を遠ざける。

実験は、CPUはIntel Core i3-7000U 2.40GHzでOSがWindows 10のタブレット型ノートパソコンを用いて行う。実験では画面に表示されている地図を閲覧する。また、顔と画面の距離を観察するため、画面中央より左にカメラ画像を表示させる。

最初に、実験1の結果を図6.1から図6.4に示す。また、図6.1から図6.4における老視判定ポイント $P_{0.5}(t)$ と画像両眼距離の変化率 $v_{0.5}(t)$ を表6.3に示す。システム起動時(図6.1)の状態から、詳細を見るため速く画面を近づけたため、図6.2のように地図が通常ズームで拡大されている。図6.2では $v_{0.5}(t) = 1.132744$ であり、表6.1の拡大(通常)の条件を満たしているため、正しく動作していることがわかる。また、 $P_{0.5}(t) = 0.00$ とポイントの加点は行われていない。次に、全体像を把握するために画面を顔から離れたところ、図6.3、図6.4では地図の表示が縮小されている。図6.3は遠ざけ始めた時であり、このとき $v_{0.5}(t) = 0.902652$ であるため、表6.2の加点条件を満たしている。よって、 $P_{0.5}(t) = 0.55$ と加点が行われている。しかし、その後の図6.4では、 $P_{0.5}(t) = 0.37$ と減点されている。これは、図6.4では $v_{0.5}(t) = 0.848844$ と画面を遠ざける速度が速く、表6.2の減点条件を満たしているためである。

この結果より、詳細を見るために画面を近づけると通常ズームにより拡大し、全体を見るために遠ざけると縮小する動作が正しく行われていることがわかる。また、老視判定ポイントが加算されたとしても、老視の症状があると判断される動作を続けない限りは減点され、老視対応ズームには移行しないことも同時に確認できる。よって、期待通りの動作ができるとわかる。

表 6.3: 実験1における変化率 $v_{0.5}(t)$ と老視ポイント $P_{0.5}(t)$ の推移

図番号	$v_{0.5}(t)$	$P_{0.5}(t)$
図 6.1	1.000000	0.00
図 6.2	1.132744	0.00
図 6.3	0.902652	0.55
図 6.4	0.848844	0.37

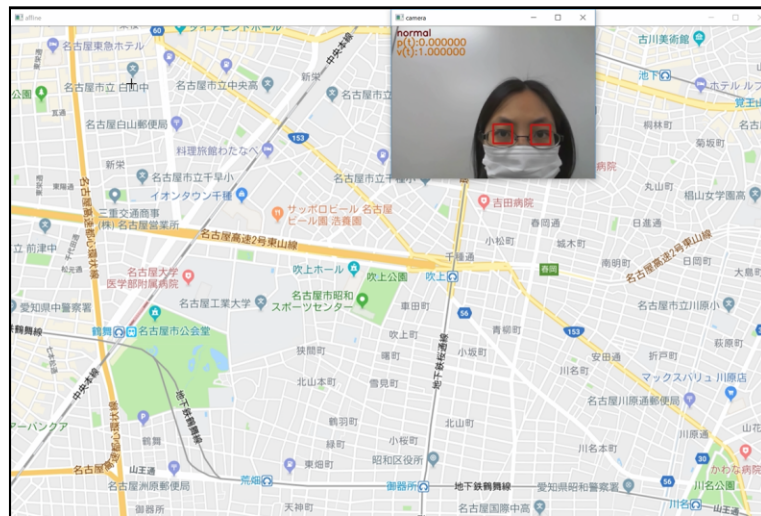


図 6.1: 実験 1 におけるシステム起動時の画面

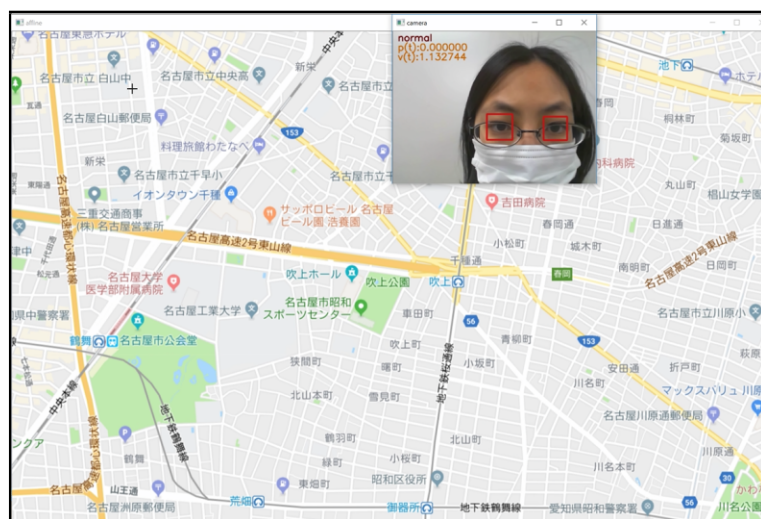


図 6.2: 実験 1 における通常ズーム実行画面 (拡大)

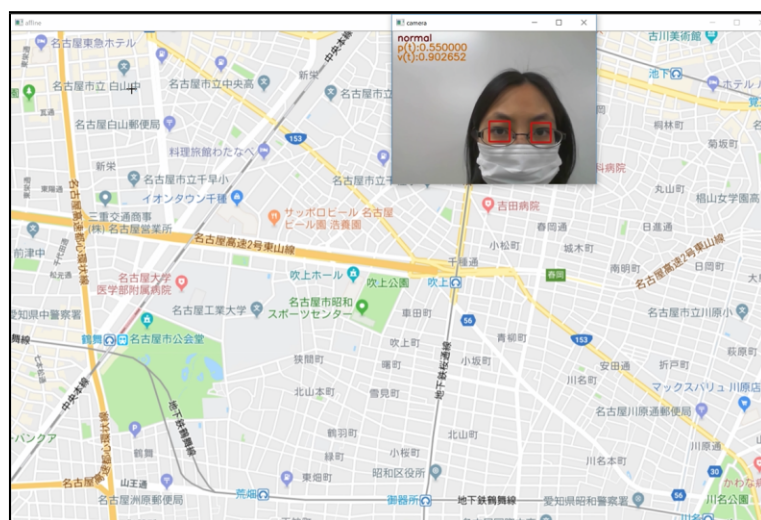


図 6.3: 実験 1 における通常ズーム実行画面 (縮小 1)

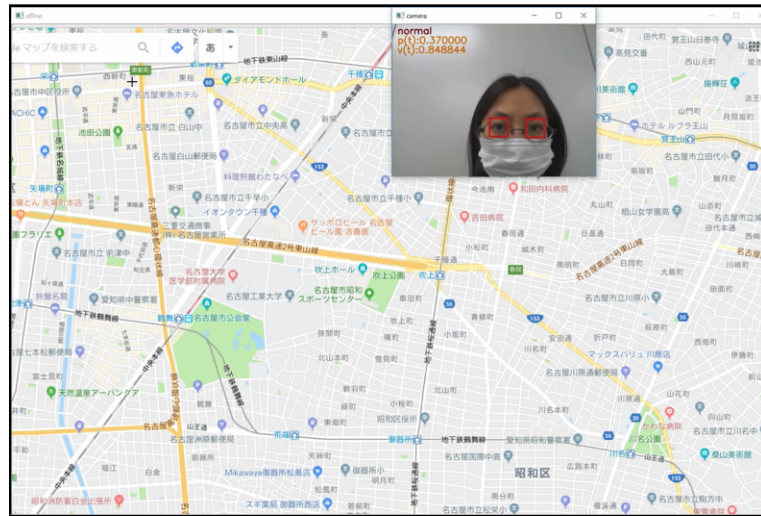


図 6.4: 実験 1 における通常ズーム実行画面 (縮小 2)

次に、実験 2 の結果を図 6.5 から図 6.9 示す．また、図 6.5 から図 6.9 における老視判定ポイント $P_{0.5}(t)$ と画像両眼距離の変化率 $v_{0.5}(t)$ を表 6.4 に示す．システム起動時 (図 6.5) の状態から、見づらい文字を見ようとゆっくり画面を近づけたため、図 6.6 のように地図が通常ズームで拡大されている．図 6.6 では $v_{0.5}(t) = 1.047607$ であるため、表 6.1 の拡大 (通常) の条件を満たしている．そのため通常の拡大が行われている．また、表 6.2 の加減条件も満たしているため、 $P_{0.5}(t) = 0.55$ となっている．その後、ピントが合わないことを想定して少しの間だけ静止した (図 6.7)．静止している最中に減点が行われ、 $P_{0.5}(t) = 0.49$ となっている．そして、ゆっくり元の位置に遠ざけたところ $v_{0.5}(t) = 0.938946$ と表 6.2 の加減条件を満たしているため、老視判定ポイントの加算が行われ、図 6.8 では $P_{0.5}(t) = 1.04$ となり、老視対応ズームへと移行した．引き続き、図 6.9 のように画面を遠ざけると $P_{0.5}(t) = 1.10$ であるため、表 6.1 の老視対応の拡大条件を満たしている．そのため $v_{0.5}(t) = 0.931056$ であるが通常の縮小処理は行わずに、老視対応の拡大が行われていることがわかる．

これらのことより、最初に見づらい文字を見ようとゆっくり近づけると通常ズームにより拡大し、その後ピントを合わせながらゆっくり遠ざけると老視対応ズームに切り替わり、画面を遠ざけているが拡大していることがわかる．また、老視症状特有の複合的動作の間で静止したとしても、短い時間であれば複合的な動作として

扱うことで老視対応ズームに移行することも確認できる。よって、こちらも期待通りの動作ができるとわかる。

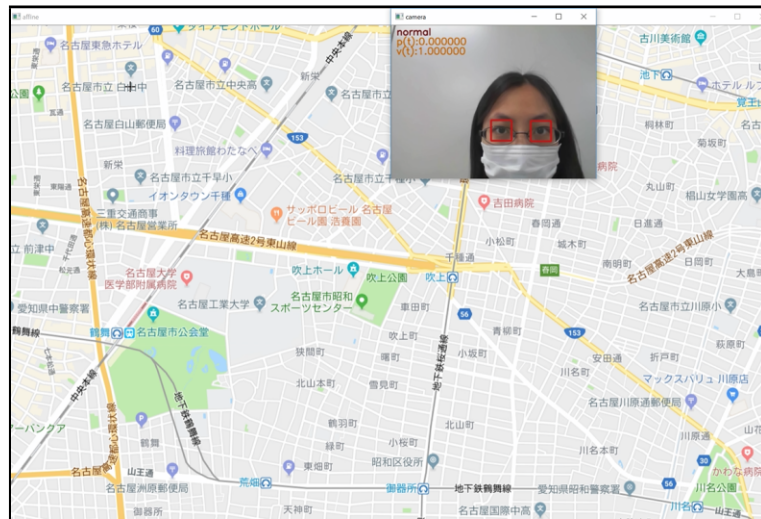


図 6.5: 実験 2 におけるシステム起動時の画面

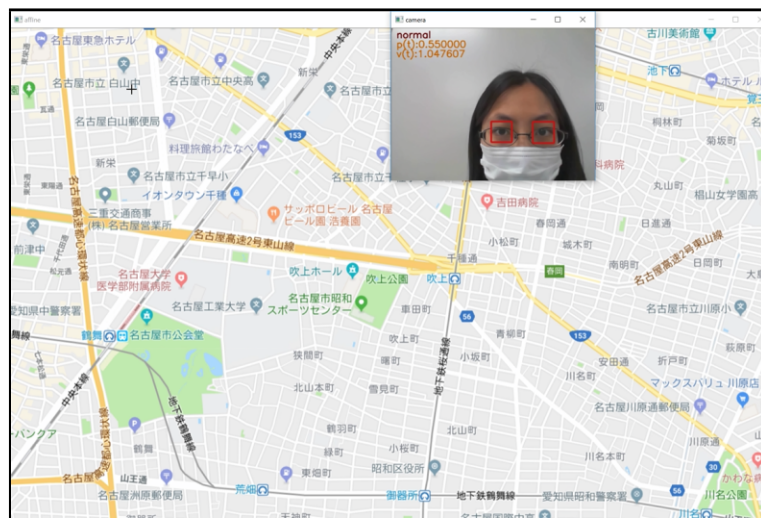


図 6.6: 実験 2 における通常ズーム実行画面 (拡大)

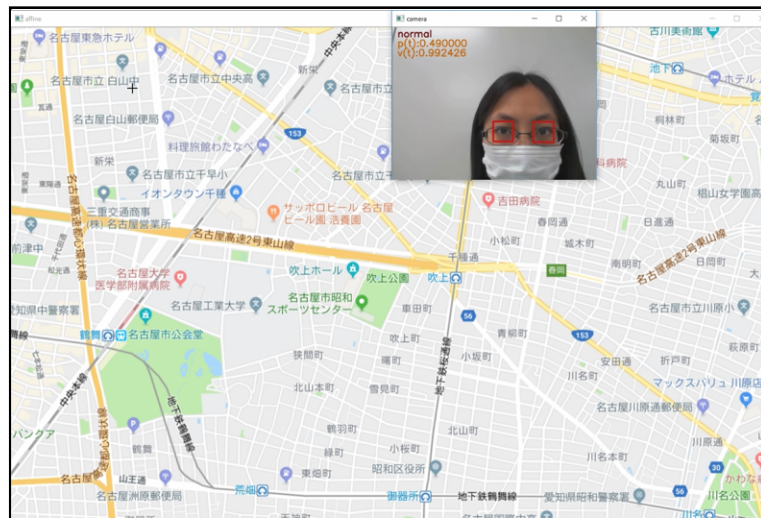


図 6.7: 実験 2 における通常ズーム実行画面 (静止)

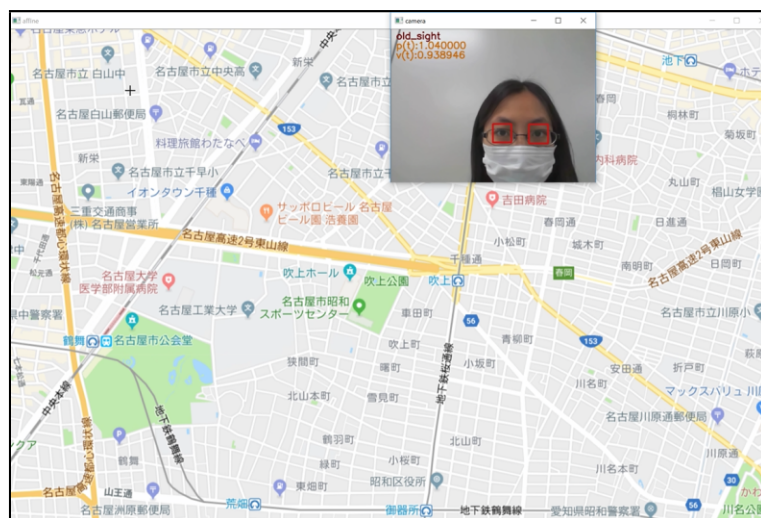


図 6.8: 実験 2 における老視対応ズーム実行画面 (老視対応の拡大 1)

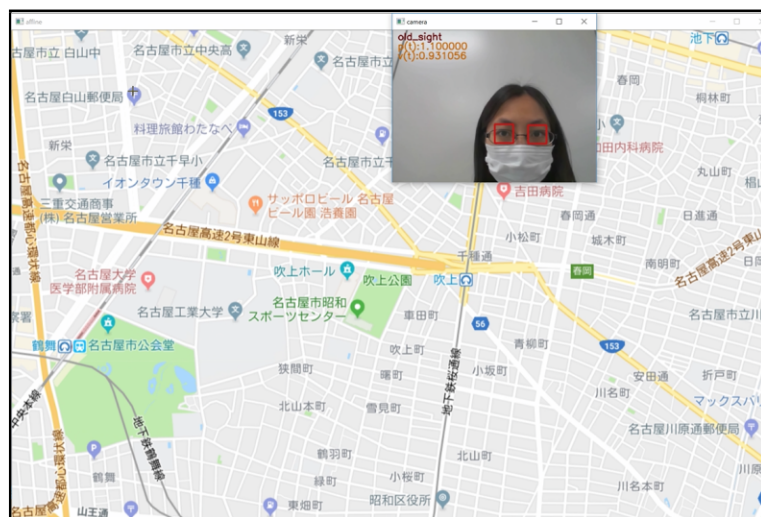


図 6.9: 実験 2 における老視対応ズーム実行画面 (老視対応の拡大 2)

表 6.4: 実験2における変化率 $v_{0.5}(t)$ と老視ポイント $P_{0.5}(t)$ の推移

図番号	$v_{0.5}(t)$	$P_{0.5}(t)$
図 6.5	1.000000	0.00
図 6.6	1.047607	0.55
図 6.7	0.992426	0.49
図 6.8	0.938946	1.04
図 6.9	0.931056	1.10

実験1と実験2を通して、期待通りの動作ができることがわかる。しかし、実験中には、予期していないタイミングで老視判定ポイントの減点や加点が行われることもあった。例えば、画面を近づけ始めたときや、遠ざけ始めたときの速度が遅く、その際に老視の症状があると判断され加点されたことがあった。また、動かしている速度が想定よりも速く、老視の症状がないと判断され減点されたこともあった。すなわち、老視症状のある場合の動作をしていないのに老視判定ズームに切り替わることがあり得る。同様に老視症状のある場合の動作をしているが老視対応ズームに切り替わらないこともあり得る。実際に老視の人に使用してもらったところ、期待通りの老視対応のズーム動作とならないこともあった。今後は一定時間の画面を動かす速さだけでなく、全体の動かす速さの推移から老視か否かを推定し、また老視判定ポイントの適切な調整をする必要があると考える。

第7章 むすび

本研究では、顔と画面の距離を測定して画面の表示を自動でズームするという従来の研究をもとに、通常のズーム機能を維持しつつ、老視の症状があると判断された場合に老視に対応したズームを行う手法を提案した。まず、老視の症状がある利用者がタブレットを閲覧する際に、どのように画面を動かすのか調査した。そして老視特有の動きがあるか否かを、老視の症状がない被験者の動きと比較して特徴を抽出し、その動きを区別するための閾値を設けた。そしてその閾値をもとに通常のズームと老視対応されたズームを自動で区別して実行する手法を提案し、その手法を確かめるため実験システムを作成した。最後に正視、もしくは老視の利用者を想定して実際にシステムを使用し、正しく動作することを実験により確認した。おおむね期待通りの動作が確認できたが、動かす速度が想定より少しでも異なると期待通りの動作にならないこともあった。

本研究の改善点としては、まず観察実験においては、多数の老視被験者を集めて特徴抽出しようと試みたため、老視の症状のない場合の被験者が少なく、老視の症状があるか否かの境目を明確に見出せなかった。今後は老視の被験者と正視の被験者を共に多く集めて更なる実験を行い、より老視の症状がある場合の特徴を抽出し、老視症状のない場合との違いを明確にする。また、提案した手法では、一定時間ごとの画面を動かす速さのみに着目していた。今後は、画面を動かす速さの全体的な推移から老視か否かを判断する手法を考えることで、老視対応の要不要の判断が容易になると考えられる。

また、実験システムでは(一般的な画面拡大においても)拡大すると、初めに見ていた情報の周辺部分が画面内に収まりきらずに、その状態では全体を把握することが困難である。例えば文章を読んでいる際に読めない単語を拡大すると、文章が途切れて一部の単語しか読めず、文章全体を読むことが難しくなる。ところで、我々

は一部の文字や一部の単語が認識できると、周辺の情報が単独では認識できない状況でも、これらを推測できることがある。特に、完全に視界にないわけではなく、ピントが合わなかったり文字が小さかったりする状況では、一部が読めるとその前後も連鎖的に読めることがある。そこで、読めない部分だけ拡大し、それ以外の部分を縮小することで全体を画面に収めることができれば、文章の全体の意味を把握しながら読むことができるかもしれない。具体的には、拡大する際に、現在見ている部分を中心として、外側に向かって徐々に拡大率を落としていくなどのように画面全体に収まるようにする。これにより、老視の利用者がより使いやすい自動ズームシステムになると考えられる。

今後はこれらの課題に1つ1つ取り組み、この自動ズーム機能をより使いやすく発展できるよう力を入れたい。

謝辞

本研究を進めるにあたって，日頃から多大な御尽力を頂き，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，本研究に多大な御協力頂きました名古屋工業大学の先生方，ニッケテニスドーム名古屋の皆さま，そして舟橋研究室諸氏に心から感謝致します．

参考文献

- [1] 梶田雅義, “人生が変わるメガネ選び”, 幻冬舎, 2014.
- [2] “少子高齢化・人口減少社会 - 総務省”,
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h24/html/nc112120.html>,
2017年1月31日参照
- [3] 堀井千夏, “高齢者のためのタッチパネル操作におけるカラーキャリブレーション手法”, 経営情報研究: 摂南大学経営情報学部論集, Vol.20, No.1, pp.33-43, 2012.
- [4] Yuki Satake, Kenji Funahashi, “Automatic Display Zoom Using Face Size of Camera Image”, *ICAT-EGVE 2016*, pp.1-2, 2016
- [5] 木下茂・ほか編, “標準眼科学”, 医学書院, 2013.
- [6] 丸尾敏夫, “老眼と正しく付き合う”, 岩波書店, 2002.
- [7] 桑嶋幹, “図解入門よくわかる最新レンズの基本と仕組み”, 秀和システム, 2013.
- [8] “調節について”, <http://www.meganehamaya.biz/tyousetu.html>, 2017年10月28日参照
- [9] 立川敦子, “高齢者にとっての光”, 電気設備学会誌, Vol.37, No.9, pp.644-647, 2017.