

原著論文

モバイル端末のコントラスト比と 水晶体白濁度による可読性への影響

○岩田 光平¹⁾, 石井 佑樹²⁾, 小飯塚 達也²⁾, 松波 紫草²⁾,
石尾 暢宏¹⁾, R. Paul Lege¹⁾, 小嶋 健仁³⁾, 宮尾 克¹⁾
1)名古屋大学, 2)名古屋大学情報科学研究科, 3)中部学院大学

The Effect of Mobile Devices Contrast Ratio and Cataract Cloudiness Severity on Readability

○Kohei IWATA, Yuki ISHII, Tatsuya KOIZUKA, Shigusa MATSUNAMI,
Nobuhiro ISHIO, R. Paul LEGE, Takehito KOJIMA, Masaru MIYAO
1) Nagoya University, 2) Nagoya University Graduate School of Information Science,
3) Chubu Gakuin University

Abstract: Mobile devices are used by a wide range of people, from young to elderly. Compared with the young, the elderly are more likely to suffer from eye diseases such as cataracts. One survey found that 66-83% of people in their 60s had cataracts. In this study, we focused on the effects of contrast ratios between characters and background color and cataracts on the readability of e-book readers. We evaluated the readability of e-books and ordinary paper text in participants with various levels of cataract cloudiness severity. We used three devices, Amazon Kindle Paperwhite, Sony Reader and plain paper. The experimental task required participants read silently the texts displayed on the devices. In the experiments, we asked the participants to evaluate the readability with different contrast ratios. The results of the experiments showed that the subjective evaluations decreased as the contrast ratios became lower with all devices. We found that readability was influenced by both cataract cloudiness and the contrast ratio.

Keywords: e-paper, front-light, readability, contrast ratio, cataract cloudiness

キーワード: 電子ペーパー, フロントライト, 視認性, コントラスト比, 水晶体白濁度

1. はじめに

近年、ディスプレイ技術が普及・発達してきたことで様々なタブレット端末や電子書籍リーダーなどが登場している。これらを用いて質の高いコンテンツが利用できるようになった。しかし、同じコンテンツでも端末の種類によって表示される色の濃淡、すなわちコントラスト比が異なる。

また、モバイル端末は高齢者にも普及している。若年者に比べて、高齢者は水晶体の白濁が進行している。60歳代のうち、66-83%が白内障を患っているという報告がある[1]。

そこで、本研究では文字と背景のコントラスト比および水晶体の白濁が、タブレット端末や電子書籍リーダーの可読性に対してどのような影響を与えるのかについて焦点を当てた。デバイスごと・コントラスト比ごとに可読性がどのように変化するか被験者実験を行ない、評価・考察を行なった。

2015年1月15日受理。2015年3月12-13日シンポジウム「モバイル15」にて発表

2. 実験方法

2.1 実験対象

本実験の対象とした被験者は15歳から78歳の男女100名であった。全被験者は近視視力に支障のない視力を有する、或いは眼鏡・コンタクトレンズによる矯正を行なった。本実験は事前にインフォームドコンセントを行ない、名古屋大学大学院情報科学研究科倫理審査委員会の承認の下行なわれた。

2.2 使用機器・環境

本実験を行なう前に、前眼部撮影解析装置(NIDEK EAS-1000)を用いて左右眼別に水晶体白濁度の測定を行なった。

実験で使用したデバイスは、AmazonのKindle Paperwhite、SONYのReader、紙(白色度69%のPPC用紙に文章を表示したもの)の3種類。以降ではそれぞれPW, SR, 紙と表記する。PWはフロントライト付きの電子ペーパー、SRは反射型の電子ペーパーを使用した端末である。PWのフロントライトは最も明るい状態で使用した。デバイスごとにベゼルの色が異なり可読

性に影響を及ぼす可能性があるため、各デバイスのベゼルを白色ケント紙で覆い、表示部だけが見えるようにした。さらにデバイスごとに底部に台を設け、表示される文章の位置が同一になるようにした。

文章の表示には PDF 形式のファイルを使用し、各デバイスで表示される文字の大きさを統一した。フォントは Courier, サイズは 8 pt, 1 ページあたり 30 文字×14 行の英数字がランダムに表示された文字列を使用した。この表示形式は、ISO において電子ディスプレイ装置の評価に用いられているものに準拠した[2-3]。図 1 に文章の表示例を示す。

文字を黒に統一し、背景の濃淡を変化させることでコントラスト比に差をつけ、3 段階のコントラスト比を用意した。コントラスト比は表示された文字と背景の輝度の実測値から計算した。0(黒)から 15(白)の 16 階調のグレーレベルのうち、3(暗い灰)、9(明るい灰)、15(白)の 3 色を背景に用いた。背景のグレーレベルが 3 のときを低、9 のときを中、15 のときを高とした。文字色には 0(黒)を用いた。デバイスごとの輝度を表 1 に、コントラスト比を表 2 に示す。

実験は暗室で照度箱を用いて行なった。照度は 6500 K の LED 光源および同じ色温度の蛍光灯を用いて 754 lx に統一した。照度の数値に対する具体例として、750 lx はオフィスや教室等の一般的な室内の明るさが対応する。また照度箱にヘッドレストを取り付けて額を支えられるようにして、視距離が 40 cm に保たれるようにした。実際の実験の様子を図 2 に示す。

表 1. デバイスごとの輝度 (単位: cd/m²)

グレーレベル	0 (黒)	3 (暗い灰)	9 (明るい灰)	15 (白)
PW	15.80	37.41	84.66	149.23
SR	9.62	17.63	42.09	86.69
紙	11.26	14.70	74.47	161.73

表 2. デバイスごとのコントラスト比

	低	中	高
PW	2.37	5.36	9.44
SR	1.83	4.38	9.01
紙	1.31	6.62	14.37

eKRBg oK8onyo cB TO oyRj3 9Dco
qVqtKpI Mu zpjn4DsJ8 IuH6tg wh
BP MS bVLV5EbTm6 wW2Y 7IHnr 6f
Iat2V2kMT1 MK zK Caza chPIkEvg
r4 hFSuMtGxd w5kpS M95Q yttZai
CRuNh8u t4 AMX 6gfKBM h9 nmAeh
9x 6Yx2JNx yS a5x0 oEw0891 YrA
26 fsDL vh IQVY Mi82 JX06gL2Hr
t1 fE2z O9 bupeh 9AqLJIFcUCpFB
hTDJ E3 QHQVK xkL hK2MEnc Y5Zt
tDE xcaelYf8e F4 Q1sXh GmOj xx
7L K8FnM a09GYy49S VfZXCJ78mHw
ta sV 3RvB bRKBNmr 3ntD2Iv 37R
Ee 9EJOB fi QM1n5 uQ3kYIIITWFFq

図 1. 文章の表示例



図 2. 実験の様子

2.3 実験手順

実験の前に、デバイスに表示された文字列を左上から探索し、探索課題として文字列中に現れる大文字の「M」の数を数えること、探索後の評価方法を被験者に説明してから実験を開始した。被験者は合図で探索を始め、探索が終わるまでにかかる時間を計測した。探索の行為を通じて、その際のデバイスとコントラスト比の組み合わせにおける文字列の可読性を評価させた。この試行を各デバイスで低、中、高の 3 段階のコントラスト比で計 9 回行なわせた。デバイス・コントラスト比の評価する順番は被験者ごとにランダムに行なった。

2.4 評価方法と統計解析

評価に用いたのは可読性に対する主観評価、探索が終わるまでにかかった時間の 2 項目である。主観評価の測定には Visual Analog Scale (VAS)を用いた。VAS は心理的応答評価の一種で、医学や心理学の場で広く利用されている[4-5]。代表的な例として、医学では「0」を「痛みはない」状態、「100」を「これ以上の痛みはないくらい痛い」状態として、現在の痛みが 10 cm の直線上のどの位置にあるかを示す方法として用いられている[6]。本実験では、VAS は左に行くほど読みにくいこと、右に行くほど読みやすいことを示し、読みやすさの度合いに応じて被験者に縦線を引いてもらう評価方法となっている。解析において VAS の値を 0 - 100 の 100 点満点に換算した。

実験によって得られた結果変数は、主観評価および探索所要時間の 2 種類である。これら 2 種に対して、説明変数として白濁度とコントラスト比の 2 変数を用いて、二元配置分散分析により統計検定を行なった。なお、文字列が見えない等の理由で読み取りができなかった試行の結果変数については、統計検定より除外した。

3. 実験結果

3.1 水晶体白濁度

被験者の水晶体白濁度一覧を表 3 に示す。被験者の白濁度は 256 階調で示した。白濁度 99 以下を低白濁度、100-149 を中白濁度、150 以上を高白濁度と分類した。

表 3. 被験者の水晶体白濁度

名称	区分	人数	平均白濁度	白濁度標準偏差
低白濁度	0-99	66	66.3	17.7
中白濁度	100-149	26	122.4	14.8
高白濁度	150-210	8	176.6	20.9

3.2 主観評価

デバイスごとの主観評価の結果を図 3-5 に示す。二元配置分散分析によって有意差がみられた項目を各図の下部に示した。白濁度に関しては有意差がみられなかったが、デバイスごとに異なる傾向がみられた。SR および紙では、どの白濁度においても、コントラスト比が高くなるほど主観評価も高くなる

結果となった。一方 PW では、高白濁度において、コントラスト比「中」の主観評価が「高」よりもやや高かった。

3.3 探索所要時間

デバイスごとの探索所要時間の結果を図 6-8 に示す。二元配置分散分析によって有意差がみられた項目を各図の下部に示した。デバイスごとにみると、PW および紙では、低白濁度と高白濁度、中白濁度と高白濁度の間に有意差がみられた。SR では、白濁度間の有意差はみられなかった。どのデバイス・白濁度においても、コントラスト比「低」の探索所要時間が長くなり、「中」と「高」では時間に差があまりみられない傾向となった。

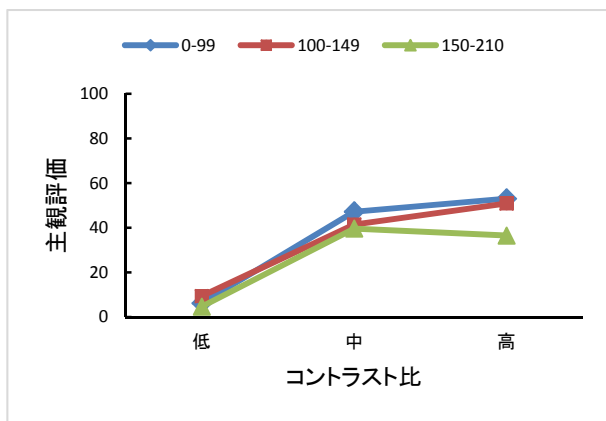


図 3. 主観評価 (PW)
白濁度:なし
コントラスト比:低一中, 低一高 ($\alpha < 0.01$)

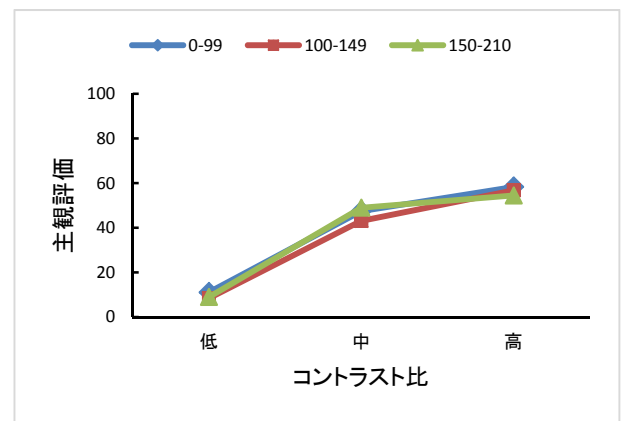


図 5. 主観評価 (紙)
白濁度:なし
コントラスト比:低一中, 低一高, 中一高 ($\alpha < 0.01$)

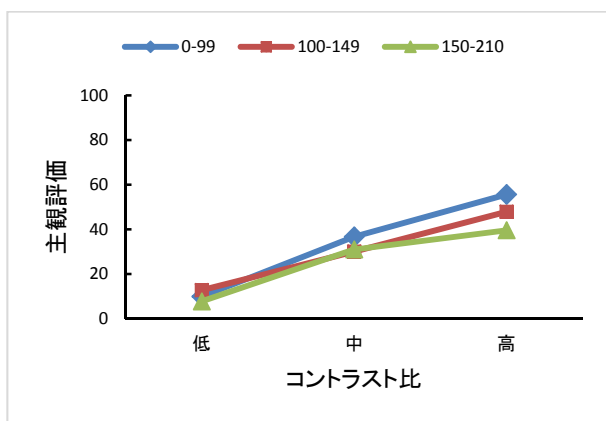


図 4. 主観評価 (SR)
白濁度:なし
コントラスト比:低一中, 低一高, 中一高 ($\alpha < 0.01$)

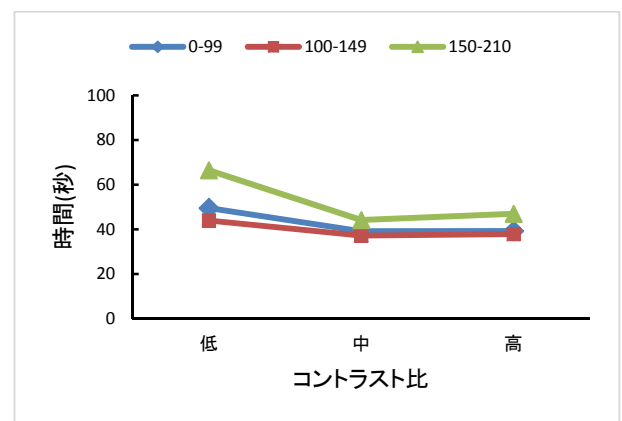


図 6. 探索所要時間 (PW)
白濁度:中一高 ($\alpha < 0.01$), 低一高 ($\alpha < 0.05$)
コントラスト比:低一中, 低一高 ($\alpha < 0.01$)

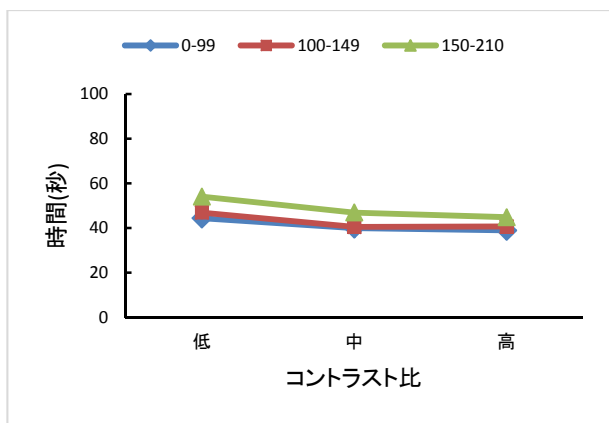


図 7. 探索所要時間 (SR)

白濁度: なし
 コントラスト比: 低-中, 低-高 ($\alpha < 0.05$)

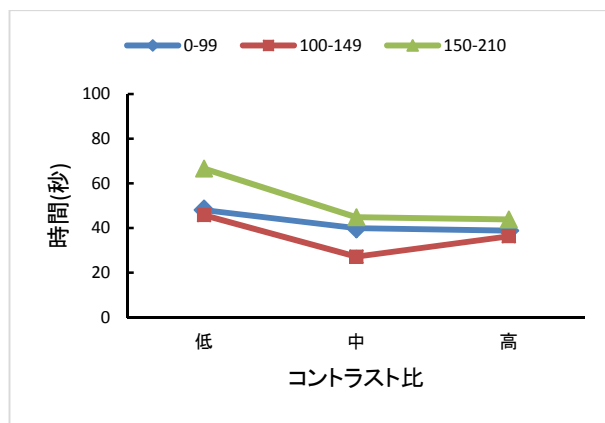


図 8. 探索所要時間 (紙)

白濁度: 低-高, 中-高 ($\alpha < 0.05$)
 コントラスト比: 低-中, 低-高 ($\alpha < 0.01$)

4. 考察

本研究では、PW と SR の 2 種類の電子書籍リーダーに焦点を当てて調査をした。比較対象のために、紙のテキストに対しても同様の調査を行なった。

PW において、他の白濁度とは違い、高白濁度ではコントラスト比「中」よりも「高」の主観評価が低くなり、探索所要時間が長くなった。図 9 は PW の画面を拡大した画像である。PW にはフロントライトを実現するためのライトガイドが画面前面に内蔵されている[7]。環境光がライトガイドによって反射されるため、鮮鋭度の低下による文字のボケがみられる。また水晶体の白濁が進行すると、健常者に比べて蛍光灯などのグレアを不快に感じやすくなる[8]。表 1 より、PW の文字の輝度は他のデバイスに比べて高く、他のデバイスよりも文字が灰色に見えやすいと考えられる。これらの要因より、高白濁度では、PW のコントラスト比「高」において可読性が低下したと考えられる。また PW のコントラスト比「高」において高白濁度の主観評価が低・中白濁度よりも低くなることは我々の先行研究と一致している[9]。

PW 以外の 2 デバイスにおいても、他の白濁度に比べて高白濁度では、コントラスト比「中」と「高」における主観評価の変化量が小さい結果となった。水晶体の白濁が進むことで網膜像が鮮明でなくなったため、コントラスト比「中」と「高」の区別がつきにくくなったと考えられる[10]。

デバイス・コントラスト比に関わらず、他の白濁度に比べて高白濁度では探索所要時間が長くなった。高白濁度の場合、水晶体が濁り、文字が読みにくくなるため、より長い時間が必要になったと考えられる。特に、PW と紙のコントラスト比「低」では、高白濁度と他の白濁度との間に大きな差があった。白濁度が高いと、水晶体の曇りによって網膜像が鮮明でなくなる。さらに文字と背景のコントラスト比が低く、高白濁度の可読限界を超えたため、結果に現れたと考えられる[10]。

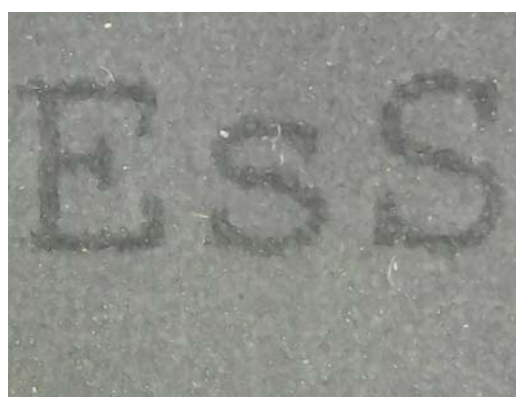


図 9. PW の画面拡大画像

5. まとめ

本研究では文字色と背景色のコントラスト比および水晶体白濁度が電子書籍の可読性に及ぼす影響について評価・検証するために被験者実験を行なった。実験は 754 lx の照度で PW, SR, 紙の 3 種類のデバイスを使用し、文章の読み取りにおける主観評価、探索所要時間を測定した。

実験結果より、PW で高コントラストのテキストに対しては鮮鋭度の低下や黒色の輝度が高いことによる影響、低コントラストのテキストに対しては水晶体白濁度の増加による影響が現れるため、高白濁度において可読性が低下したと考えられる。デバイスごと・白濁度ごとの最適なコントラスト比の検証は、今後の課題としたい。

デバイスによって初期状態の文字や背景の輝度が異なり、本実験では背景を 16 階調のグレーレベルだけで決定した結果、デバイスごとのコントラスト比が異なる値になった。そのため、デバイス間において比較を行なうのが困難になってしまった。コントラスト比の値を揃えた上での検証を今後の研究課題としたい。またデバイスの種類に関わらず、背景色が暗すぎたためにコントラスト比「低」の文字を読むことができなかった被験者が多数現れた(PW19 名, SR19 名, 紙 12 名)。被験者に不快な思いをさせない実験タスクを考えることも大切であると

考えられる。

参考文献

- [1] 小原喜隆: 科学的根拠(evidence)に基づく白内障診断ガイドラインの策定に関する研究, 日本白内障学会誌, 16, pp. 11-13 (2004).
- [2] ISO, Requirements for electronic visual displays, 9241-303 (2011).
- [3] ISO, User performance test methods for electronic visual displays, 9241-304 (2008).
- [4] Stan Grant, Tom Aitvhisson, Esther Henderson, Jim Christie, Sharam Zare, John McMurray, Henry Dargie: A comparison of the reproducibility and the sensitivity to change of Visual Analogue Scales, Borg Scales, and Likert Scales in normal subjects during submaximal exercise, Chest 116 (5), pp. 1208-1217 (1999).
- [5] Paul S. Myles, Sally Troedel, Michael Boquest, Mark Reeves: The pain visual analog scale: is it linear or nonlinear?, Anesth analg, 89 (6), pp. 1517-1520 (1999).
- [6] 小川節郎: 痛みの概念が変わった, 真興交易医書出版部, pp. 118 (2008).
- [7] NYTimes.com - How the Kindle Paperwhite works: <http://www.nytimes.com/interactive/2012/12/26/technology/light-reading.html> [accessed March 31, 2015]
- [8] 池田光男, 小浜朋子, 久住亜津沙, 篠田博之: 一人の高齢者の白内障手術前後における物の見えと色の見えの比較, 日本色彩学会誌, 28 (1), pp. 26-35 (2004).
- [9] 石井佑樹, 小飯塚達也, 崔人月, 小嶋健仁, 宮尾克: タブレット端末における白濁度別の視認性評価, シンポジウムモバイル研究論文集, 4 (1), pp. 21-24 (2014).
- [10] 池田光男, 小浜朋子, 久住亜津沙, 篠田博之: 白内障疑似体験ゴーグルによる色票の見えの変化, 日本色彩学会誌, 27 (2), pp. 113-124 (2003).

著者紹介



岩田 光平(学生会員)
2011 名古屋大学工学部電気電子・情報工学科入学. 2014 名古屋大学情報科学研究科宮尾研究室に配属され現在に至る. モバイル機器・電子ペーパー端末の可読性に関する研究に従事.



石井 佑樹(学生会員)
2014 名古屋大学工学部電気電子情報工学科卒業, 同年名古屋大学大学院情報科学研究科博士前期課程入学, 現在に至る. モバイル機器の視認性や可読性の研究に従事.



小飯塚 達也(学生会員)
2013 名古屋大学工学部電気電子情報工学科卒業, 同年名古屋大学大学院情報科学研究科博士前期課程入学, 現在に至る. 主にモバイル機器, 電子ペーパーに関する研究に従事.



松波 紫草(学生会員)
1994 名古屋大学大学院農学研究科博士課程前期課程終了, 同年愛知県庁入庁. 2014(公財)愛知県国際交流協会に派遣, 同年名古屋大学大学院博士課程後期課程入学, 現在に至る. 主にE-ペーパーの可読性の研究及び, 多言語生活情報翻訳システムの運用に従事.



石尾 暢宏(非会員)
1999 神戸大学大学院自然科学研究科博士後期課程終了, 同年神戸商船大学非常勤研究員. 2012 名古屋大学大学院情報科学研究科共同研究員, 現在に至る. 主として電子書籍の可読性に関する人間工学的研究に従事.



R. Paul Lege(非会員)
カリフォルニア州立大学ロサンゼルス校人間学部修士課程修了修士号取得. 現在名古屋大学法科大学院准教授. 多言語法律翻訳に関する研究に従事.



小嶋 健仁(正会員)
2014 名古屋大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了. 同年 中部学院大学看護リハビリテーション学部助教授, 現在に至る.
立体映像の生体測定, モバイルアプリケーションに関する研究に従事.



宮尾 克(正会員)
1982 医学博士. 同大学医学部助手・講師・助教授・教授(多元数理科学・情報基盤センター)を経て, 2009 情報科学研究科教授, 現在に至る. 人間工学・公衆衛生学を通じ, 3D 映像の生体影響, ケータイ・モバイル機器のユーザビリティ, 多言語情報システムを研究.