

原著論文

注視点の移動による3D 立体映像の見やすさの変化

采女 智津江¹⁾, 小嶋 健仁²⁾, 杉浦 明弘¹⁾, 森田一三¹⁾, 宮尾 克¹⁾

¹⁾ 名古屋大学情報科学研究科, ²⁾ 中部学院大学看護リハビリテーション学部

Changes in the visibility of the 3D stereoscopic images with the movement of the gaze point.

○Chizue UNEME¹⁾, Takehito KOJIMA²⁾, Akihiro SUGIURA¹⁾, Ichizo MORITA¹⁾, Masaru MIYAO¹⁾

¹⁾ Graduate School of Information Science Nagoya University

²⁾ Faculty of Nursing and Rehabilitation, Chubugakuin University

Abstract: People can watch 3D stereoscopic images clearly due to the deep depth of field, when the display is 2 m or more apart from them, and the screen brightness is enough. However, handheld tablets with short viewing distance have a shallow depth of field. In this study, we carried out experiments to establish the basic database on the limits of 3D images as they emerge from tablet devices. The subjects included 56 healthy volunteers from 13 to 74 years of age. They were asked to watch 3D images on a tablet device. They were asked to evaluate the 3D images with 4 options, 1: clear 3D, 2: blur 3D, 3: double image 3D, and 4: completely separated two images. In experiment 1, the target was fixed on the screen (1.0 D: 1.0 m) and test images were presented at the position of 1.125, 1.25, 1.375, and 1.5 D. In experiment 2, the retraction image was fixed on the screen (1.0 D: 1.0 m), the target positioned at 1.125, 1.25, 1.375, and 1.5 D, and the 3D images were presented at 1.25, 1.5, 1.75, and 2.0 D. Experiment 2, the evaluation of the "clear" were more than Experiment 1, in spite of the test images separated from the screen. The proportion of "clear" plus "blur" is almost the same, in both experiments.

Keywords: 3D stereoscopic image, fusion area, depth perception, convergence, accommodation

キーワード: 3D 立体映像, 融像領域, 奥行き感, 輻輳, 調節

1. はじめに

3D 立体映像の観視時は、十分な画面輝度であれば、瞳孔の縮瞳によって深い被写界深度が得られる。結果、視距離 2 m 以上はボケを感じることなく観視できる[1,2]。一方、近年普及が著しいタブレット端末は、手に持って使用するため視距離は数十 cm であり、被写界深度の効果はほぼ期待できないと考えられるが、3D 立体映像が融像できない等の問題はほとんど聞かれない。理由の一つは、「立体映像の視差量は 1.0 度未満」というガイドラインにより制限されているためであるが、視差量 1.0 度の飛出しは、視距離 500 mm で 64 mm と 1 割程度であり、「飛出す映像」というキャッチコピーから、ダイナミックな飛出しを期待するユーザーには物足りない数値といえる。もう一つは、ハンドヘルドでの使用環境下では、飛出し量の大きさに比べ、見やすさの低下が少ない可能性が考えられる。本研究では、タブレット端末用 3D 立体映像の飛出し基準値算定のための基礎データを収集することを目的に、注視点の移動による 3D 立体映像の見やすさの変化について実験を行い、飛出

し側、引込み側それぞれについて考察を加えた。

2. 方法

2.1 被験者

本研究の被験者は、13 歳から 74 歳の男女 56 名 (mean: 38.2, SD: 13.9) であった。日常生活において、読書など近見作業をする場合に眼鏡、コンタクトレンズを使用しているものは、着用して実験に参加した。Colleen MacLachlan ら[3]によれば瞳孔間距離 (IPD) が 14-15 才で 60 mm 程度になること (表 1)、また 3D 立体映像の制作現場では、多くの場合成人用の視差量 (左右眼画像の距離) を 60 mm としていることから、IPD 60 mm 以下の 13 名を子供と想定し、「狭い」とした。また、日本人成人男子の IPD の平均である 65 mm 以上[4]の 17 名を「広い」とし、61~64 mm の 26 名は「中間」の 3 群に分けた。実験に際しては、被験者には事前に十分にインフォームドコンセントを行っている。なお、本実験は名古屋大学情報科学研究科の倫理審査委員会の承認を得て実施している。

2.2 実験デザイン

実験は、ディスプレイに表示された視標を注視した状態で、その前後に飛出し、または引込んで提示される 3D 立体映像がどのように見えるかを評価した (図 1 左)。上下 3 つのセルの中心間距離はそれぞれ 57 ピクセルで、視角 1 度に相当し、中

2015 年 1 月 16 日受理. (2015 年 3 月 7 日シンポジウム「モバイル '15」にて発表

表 1. 年齢と瞳孔間距離(IPD)の変化 (f:female, m:male)

age(f)	0.59	1.46	2.85	3.45	4.49	5.48	6.48	7.51	8.56	9.50	10.52	11.41	12.44	13.45	14.42	15.47	16.49	17.38	18.82
IPD(f)	42.24	44.67	46.37	48.05	49.64	51.03	52.03	52.83	54.05	54.67	55.84	57.09	58.69	58.26	59.13	58.28	57.08	59.25	59.99
age(m)	0.59	1.46	2.50	3.50	4.48	5.48	6.49	7.50	8.52	9.46	10.49	11.47	12.45	13.54	14.57	15.46	16.47	17.46	18.86
IPD(m)	43.21	45.79	47.84	49.41	50.43	52.02	53.06	54.00	55.16	55.08	56.54	57.04	58.52	58.37	60.97	62.60	63.44	60.53	62.21

出典: Normal values and standard deviations for pupil diameter and interpupillary distance in subjects aged 1 month to 19 years Colleen MacLachlan et al.[3]

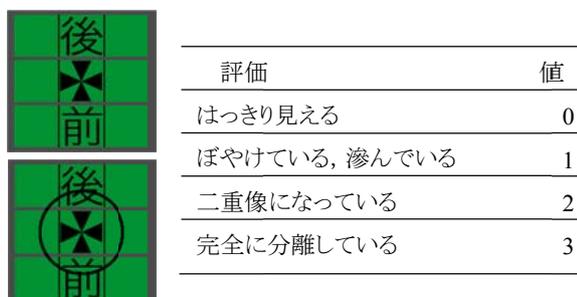


図 1. 初期提示画像 (左上) と中心視範囲 (左下) 評価基準 (右)

心の視標を注視した場合、「前」「後」の評価画像はわずかに中心視の範囲にかかる。評価画像は、視標から前後に 0.125 D (ディオプトリ) 刻みで視差量が増加し、4 段階表示される。試行は実験 1, 2 で各 4 回の合計 8 回、評価基準は、「はっきり見える:0」「ぼやけている:1」「二重像になっている:2」「完全に分離している:3」の 4 段階である(図1右)。

4 段階の評価では、0 (または 1) までは融像しているが、2, 3 の評価については融像領域を超え、破綻していると考えられる。評価画像がぼやけているか二重像になっているかについては、「少しだけずれた二重像なのか、ぼやけているのか」等、口頭で確認しながら聞き取り調査を行った。

ディスプレイは SAMSUNG 社製 S23A950D (23 インチ, 液晶シャッター方式) を用いた。実験環境の照度は、水平(上向き

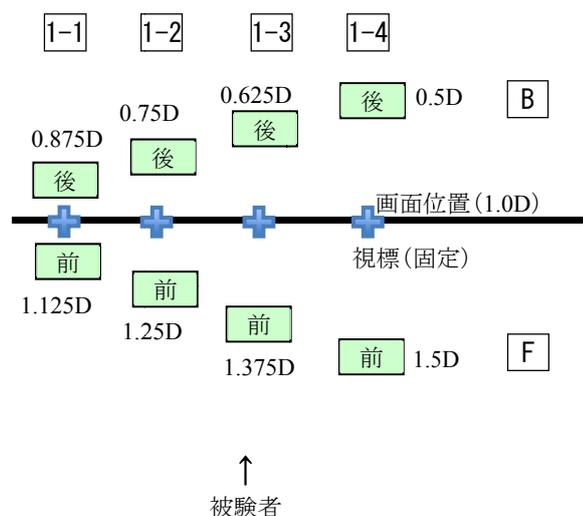


図 2a. 実験 1 視標, 評価画像の位置

測定) 870 lx, 垂直(ディスプレイ向き) 308 lx であった。

視距離は 1.0m, 被験者には、試行前に初期画像(「前」の文字に 2 ピクセルの視差がついた 3D 画像)を提示し、シャッターメガネ装着で 3D に見えること、1m~50 cm 程度の距離でピントが合うかどうかを確認して実験を開始した。今回の実験で視距離を 1.0m に設定したのは、先行研究[4]において、視距離 1.0m で瞳孔径と被写界深度について考察しており、比較検討可能にするためである。この中で、3D 立体映像の水晶体焦点位置の計測と、瞳孔径の計測を行ったところ、暗条件(被写界深度の浅い条件)で、2.0D の飛出し距離では水晶体調節の焦点(ピント)が不安定であったため、1.0m の視距離であればより確実にデータが得られると考えた。また、立体映像の飛出しと引込みの融像については、栗林ら[5]は、3D 立体映像で視距離を短くした場合、引込み側のみ融像限界の拡大が見られ、飛出し側の拡大は見られなかったと述べており、我々の実験で求めている飛出し、引込みの両方の見え方の比較が近距離になるほど難しくなることが予想され、視距離 1.0m によるデータ収集が妥当と判断した。なお、当研究室の水晶体調節焦点の計測で、確実に検出できるディオプトリが、±0.1 D であるため、表示コンテンツの各段階を、0.125 D 刻みとした。

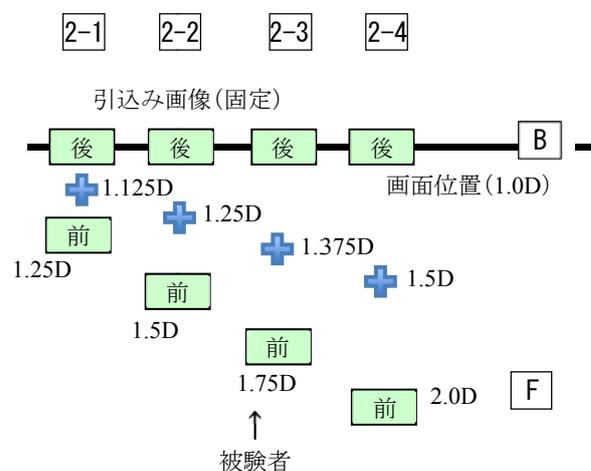


図 2b. 実験 2 視標, 評価画像の位置

2.2.1 実験 1(視標を画面位置に固定での 3D 立体映像の見え方の比較)

視標 \boxtimes は画面位置(1.0 D)に固定した状態で、4 枚の評価画像の視差量は、画面位置を挟んで前後に 0.125 D 刻みで 4 段階に増加させた。評価画像の飛出し位置は、1.125 D、1.25 D、1.375 D、1.5 D と変化する、評価画像の引込み位置は、0.875 D、0.75 D、0.625 D、0.5 D となる(図 2a)。被験者は視標 \boxtimes を注視した状態で、飛出し画像の「前」がどのように見えるか評価を行い、次に引込み画像の「後」を同様に評価した。それぞれの施行及び前後の評価画像を 1-1F、1-1B~1-4F、1-4B とする。

2.2.2 実験 2 (視標自体に視差量をもたせた立体映像の見え方の比較)

実験 1 の試行後、続けて実験 2 を行なった。視標と評価画像との視差量は実験 1 と同じであるが、引込み側の評価画像を画面位置(1.0 D)に固定している。視標と評価画像の視差量は 0.125 D 刻みで増加するため、視標位置は、1.125 D、1.25 D、1.375 D、1.5 D と変化する。同様に飛出し側の画像は、0.25 D 刻みで 1.25 D、1.5 D、1.75 D、2.0 D と変化する(図 2b)。したがって、視標と評価画像の視差量は実験 1 と同じでありながら、実験 2 では、被験者は画面よりも飛出した視標を注視しつつ、視標よりもさらに飛出した「前」画像と、画面位置にある「後」画像をそれぞれ評価することになる。実験 2 についても、実験 1 と同じく、それぞれの試行と前後の評価画像を、2-1F、2-1B~2-4F、2-4B とした。

2.2.3 実験 3 (練習効果の影響検証)

実験 1, 2 については、試行は、1 から 2 の順に行ったが、練習効果による影響がないことを検証するために、被験者を

変え(20 代男女 9 名)、実験 2、実験 1 の順序で実験 3 を実施し検証した。

2.3 統計分析

瞳孔間距離の違いによる 3 群(狭い、中間、広い)間の 3D 立体映像の見え方の違いを、独立サンプルによる Kruskal-Wallis の検定により分析した。また、同一位置の評価画像については、評価の値(図 1 右)について Wilcoxon の符号付順位検定により比較した。分析は SPSS Statistics 19 を用いて行った。なお、統計学的な有意性は危険率 5% 以下で判断した。

3. 結果

3.1 瞳孔間距離の差による見えやすさの違い

瞳孔間距離別の 3 群(狭い、中間、広い)について、独立サンプルによる Kruskal-Wallis の検定を行なったところ、いずれの群間においても有意確率は 0.05 より大きく、瞳孔間距離の差により、見え方に差があるとは言えない結果となった。

ただし、本実験においては、視標を注視した状態で評価画像を見るという試行であり、著者らの先行研究において、単独の視標を注視した場合の 3D 立体映像の飛出し距離の認識は、被験者の瞳孔間距離によって差が生じている[6]。

3.2 同一視差量における見え方の違い

実験 1, 2 の 4 段階の飛出し、及び引込み画像の見え方の評価を表 2、図 3a~d に示す。図 3a と b、図 3c と d をみると、飛出し、引込みともに、実験 2 の方が「はっきり見える」と回答した被験者の割合が多いことがわかる。

表 2. 実験 1 及び実験 2 における注視点の移動による 3D 立体映像の見え方の評価

単位：人

	1-1F	1-2F	1-3F	1-4F	2-1F	2-2F	2-3F	2-4F	1-1B	1-2B	1-3B	1-4B	2-1B	2-2B	2-3B	2-4B
はっきり見える	32	15	8	5	39	20	8	7	44	32	23	18	53	40	32	28
ボケる, にじむ	22	26	14	7	14	11	9	4	11	18	10	9	2	6	8	3
二重像になる	3	16	22	10	4	22	22	8	2	7	21	12	2	11	13	11
完全に分離	0	0	13	35	0	4	18	38	0	0	3	18	0	0	4	15

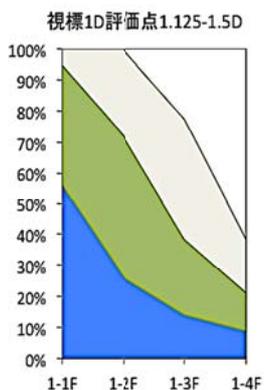


図 3a. 実験 1 飛出し側

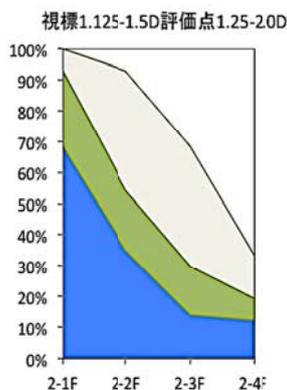


図 3 b. 実験 2 飛出し側

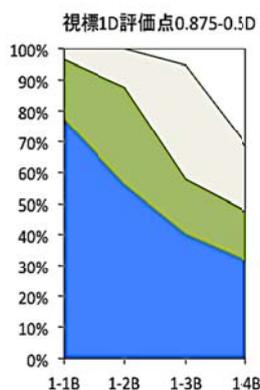


図 3 c. 実験 1 引込み側

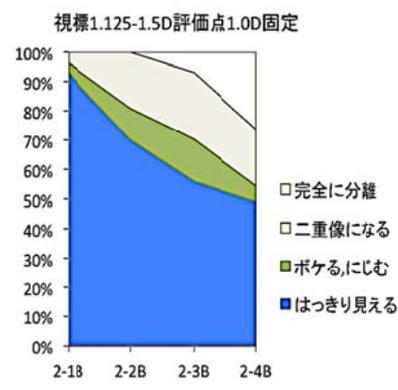


図 3 d. 実験 2 引込み側

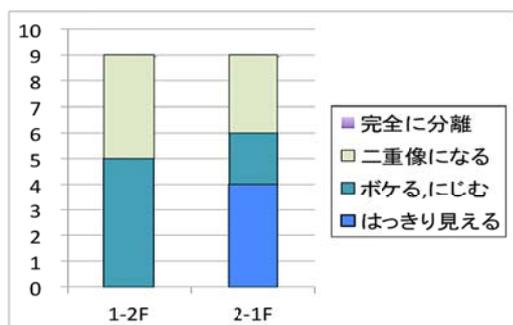


図 4a. 実験 3 同一飛出し量の比較 (1.25D)

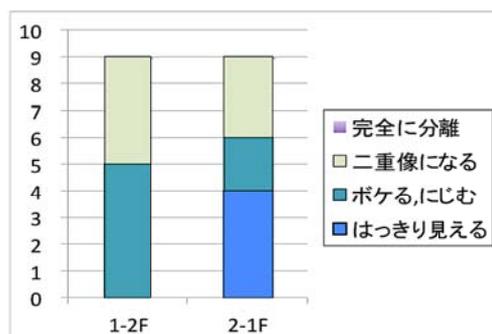


図 4b. 実験 3 同一飛出し量の比較 (1.5D)

3.3 同一位置の評価画像の見え方の違い

図 3a の 1-2F と, 図 3b の 2-1F は, どちらも評価画像の飛出し位置が 1.25 D であるが, 「はっきり見えた」割合は 2-1F の方が多かった. Wilcoxon の符号付順位検定でも 2-1F の方が 1-2F に比べ有意 ($p < 0.001$) に見えていた. また, 1-4F と, 2-2F も評価画像の飛出し位置は 1.5 D で同じであるが, やはり 2-2F の方が「はっきり見える」の割合は多かった. Wilcoxon の符号付順位検定でも 2-2F の方が 1-4F に比べ有意 ($p < 0.001$) にはっきり見えていた.

3.4 同一位置の評価画像の見え方の違い (測定順序を逆にした場合)

実験 3 は, 実験 2 から実験 1 の順序で行なった. 実験 1 から実験 2 の順序で行なった結果と同様に, 実験 2 の方が「はっきり見える」と答えた割合が多かった (図 4a, b). Wilcoxon の符号付順位検定でも評価画像の飛出し位置が 1.25 D の場合 2-1F の方が 1-2F に比べ, 評価画像の飛出し位置が 1.5 D の場合も 2-2F の方が 1-4F に比べ有意 ($p < 0.05$) にはっきり見えていた.

4. 考察

4.1 同一視差量における見やすさの比較

実験 2 と実験 1 で, 各被験者が評価した見え方の値 (図 1 右の 0~3) について, 実験 2 の評価値から実験 1 の評価値を減じて, Wilcoxon の符号付順位検定により比較した.

視標からの視差量が 0.125 D の 2-1F - 1-1F から, 0.5 D の 2-4B - 1-4B まで, 飛び出し, 引込み各 4 通りの計 8 通りについて検定した. 評価値は, はっきり見えるほど小さい数値であるから, 実験 2 - 実験 1 で負の順位が出た場合, 実験 2 の方が明瞭に見えていることになる.

視差量が同じでありながら, 実験 2 の方がよりはっきり見えている結果となったのは興味深い点であり, 特に, 引込み側については, 画面上の視標を注視してそこから引込んだ評価画像を見るよりも, 画面から飛出した視標を注視して, そこから引込んだ評価画像を見る方がはっきり見えている. 従来言われていた「ピントは画面に合う」という説が正しいのであれば, 視標も評価画像も画面に表示されており, かつ画面上の視標を注視している実験 1 の方がよく見える結果となるのが妥当である. または, どちらの実験においても画像が表示されているのは画面であるから, 実験 1, 2 とも同じ見え方になるはずである. 上記の結果に加えて, 飛出し側の評価については, 有意

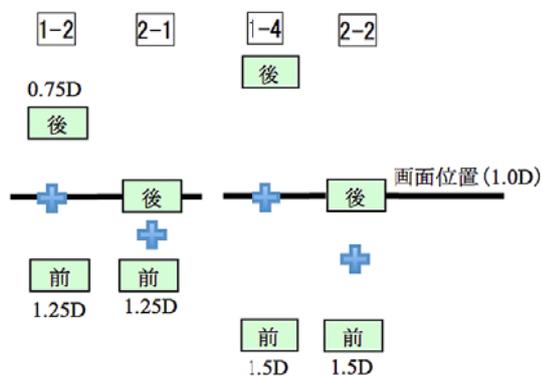


図 5. 同一飛出し量の条件比較

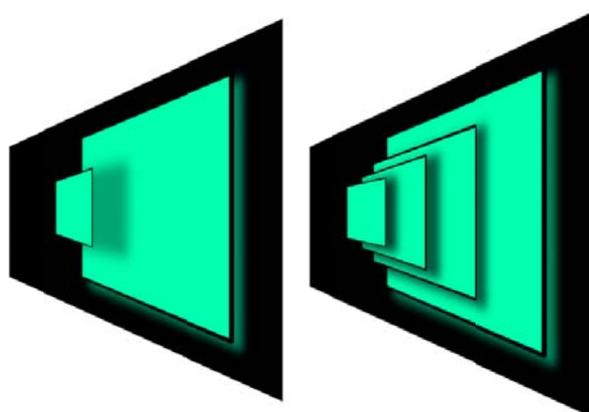


図 6. 補助図形なし(左)と補助図形あり (右) の飛出し画像

な差までは大きくなかったが、2-1F - 1-1F で負の順位が出ている。両者は、視標から評価画像までの視差量は同じであるが、評価画像の位置は、2-1F では 1.25 D、1-1F では 1.125 D で、画面からの距離は 2-1F の方が大きく、ディオプトリで 2 倍の開きがある。これらのことから、画面から引っ込んだ、奥行き側に深い 3D 立体映像ではなく、画面から飛出したコンテンツを注視した状態を基準に、そこより引っ込んだコンテンツを視視する方が見やすい映像になる可能性が示唆された。

4.2 飛出し側の 2 試行の比較

実験 1 の 1-2F と、実験 2 の 2-1F は、評価画像の飛出し位置が 1.25 D で同じである。同様に 1-4F と 2-2F も飛出し位置が 1.5 D で同じである。両者を Wilcoxon の符号付順位検定で比較したところ、どちらも 0.01 より小さい有意確率であり、有意に差がある結果となった。

2 つの試行については、評価画像の飛出し位置は実験 1、2 で同じであるが、実験 2 については、画面と評価画像の間に視標が入る形になっていることが大きな違いである(図 5)。大島らは「両眼立体視における視差情報の処理機構」[7]で、ある視差量を持つ 2 枚の図形(図 6 左)だと、0.3 度程度の視差量で融像限界を超えてしまうが、2 枚の間に補助図形を入れることで、融像限界視差量が最大 0.8~1.0 度に増加した(図 6 右)と述べている。本実験では、実験 2 の視標そのものが飛出している状態が、大島らが述べている補助図形を入れた状態に近いと考えられる。

4.3 試行順序入れ替えによる検証

実験 1、2 の試行で、練習効果が出ていないことを検証する実験 3 を、Wilcoxon の符号付順位検定で比較したところ、同じく有意に差がある結果となった。実験 1、2 と、実験 3 の結果はいずれも、同じ飛出し位置の評価画像を見る場合であっても、飛出している評価画像を直接見る場合よりも、画面と評価画像の中間位置に輻輳焦点と水晶体調節焦点を移動し、そこから評価画像を見た方が、見やすくなる可能性が示された。このことは、大きな視距離を持たず、被写界深度の効果を期待できないモバイルデバイスの 3D 立体映像表示に有効にはたらく可能性がある。画面に対して大きな視差量を持たせた単一のコンテンツであれば簡単に融像限界を超えてしまうが、段階的にコンテンツを重ねた映像づくりをおこなえば、通常の限界を越えた視差量の 3D 立体映像を提供できる可能性がある。また、デジタルサイネージの分野においても、宣伝対象のコンテンツとさらにその前の文字情報を組み合わせることで、単純な 2 つのコンテンツの融像限界以上の視差量が確保できる。また、従来の安全ガイドラインに沿って作られたコンテンツの前に更に飛び出させた文字情報を付加することも可能となる。

5. まとめ

本研究では、タブレット端末用 3D 立体映像の飛出し基準

値算定のための基礎データを収集することを目的に実験を行った。実験結果から、同一の視差量であれば、画面に固定された視標から奥行き側を視視するよりも、すでに飛出している視標から奥行き側を見る方が見やすい可能性が示唆された。また、2 つの画像の間に補助画像を挟むことで、融像域が広がる可能性も示唆された。このことはモバイル端末での使用のみならず、デジタルサイネージの分野でも有効に働く可能性がある。

今回の実験は、3D 対応のタブレットに表示される解像度が要求より低くなる点と、基礎データの収集を目的としているため、当研究室の先行研究と比較検討が可能なように水晶体調節測定実験[4]と同一の機材と実験条件(ディスプレイ、視距離)で行なった。今後は、実際のタブレット端末用のコンテンツを作成し、モバイル端末での使用に即した視距離と飛出し量を設定し、精密な調査、計測を行ない、評価検証を実施する予定である。

参考文献

- [1] R. Patterson, Human factors of stereo displays: an update, J. SID, 17, No. 12, pp.987-996 (2009)
- [2] Bin Wang, Kenneth J. Ciuffreda: Depth-of-focus of the human eye in the near retinal periphery, Vision Research, 44, pp.1115-1125 (2004)
- [3] Colleen MacLachlan and Howard C. Howland: "Normal values and standard deviations for pupil diameter and interpupillary distance in subjects aged 1 month to 19 years", Ophthal. Physiol. Opt. Vol.22, No.3, pp.175-182 (2002)
- [4] 小島健仁, 本多悠真, 宮尾克: 立体映像視視時のボケと被写界深度, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.38, No.25, pp.103-107 (2014)
- [5] 栗林英範, 石川和夫, 畑田豊彦: 実空間と両眼視差空間での奥行き知覚の相違 - 近距離空間における像のボケと融像限界 -, 映像情報メディア学会誌, Vol.58, No.12, pp.1778-1785 (2004)
- [6] 小島健仁, 大橋拓実, 石尾広武, 岡田悠希, 宮尾克: 3D テロップによる飛出し量の認知, 電気学会論文誌 C, Vol.134, No.2, pp.212-217 (2014)
- [7] 大島敦之, 佐伯諭, 森峰生, 大頭仁: 両眼立体視における視差情報の処理機構, VISION, Vol.11, No.2, pp.93-96 (1999)

著者紹介



采女 智津江(正会員)

2002年、女子栄養大学大学院保健学専攻にて修士を取得。公立学校の養護教諭、指導主事を経て2003年文部科学省スポーツ青少年局健康教育調査官、2011年名古屋学芸大学教授に就任。

2014年名古屋大学大学院情報科学研究科情報システム学専攻博士課程入学。主として3D立体映像の子どもへの健康影響に関する研究に従事。



小島 健仁(正会員)

1989年信州大学農学部農芸化学学科卒業。同年愛知県公立学校教員。2014年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、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。



杉浦 明弘(正会員)

2003年岐阜医療技術短期大学診療放射線技術学科卒業(診療放射線技師免許取得)、2008年名古屋大学大学院医学系研究科博士前期課程修了(修士(医療技術学))現在、名古屋大学大学院情報科学研究科博士後期過程在学中、岐

阜医療科学大学保健科学部放射線技術学科助教。立体映像視聴が人体におよぼす影響、CTの被曝線量測定に関する研究に従事。映像酔い、姿勢制御、被曝線量評価に興味を持つ。日本放射線技術学会、電子情報通信学会、生体医工学会の各会員。



森田一三(正会員)

1992年愛知学院大学歯学部卒業。同年臨床研修課程(1993まで)。1997年愛知学院大学大学院歯学研究科(口腔衛生学専攻)修了。同年愛知学院大学歯学部助手(口腔衛生学講座)。1999年同講

師。2006年ロンドン大学客員研究員(2007まで)。2013年愛知学院大学歯学部退職。2014年名古屋大学大学院情報科学研究科博士研究員。3D立体映像の生体計測、e-paperの可読性について研究に従事。



宮尾 克(正会員)

2014年名古屋大学医学部医学科卒業。1982年医学博士。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年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。