

# ヘッドマウントディスプレイによる 立体視についての研究<sup>\*</sup>)

齋藤 英喜, 岸本 大海

Hideki SAITO and Hiromi KISHIMOTO

名古屋文理大学 情報文化学部 情報メディア学科 はせがわ研究室  
HASEGAWA Laboratory, Department of Information and Media Studies,  
Faculty of Information Culture, Nagoya Bunri University

2010年1月28日 提出

**要旨** 立体映像を人間の目がどう認知するのか、立体像が目はどう影響するのかはまだ完全には理解されていない。本研究では、大きさを変えない円図形を立体視させる実験によって、融像距離が画面より近い飛び出し像は小さく、遠い奥行き像は大きく認知されることを定量的に示した。またランドルト環を立体視させる実験により、立体像でも融像範囲内ならば視認性は低下しない結果を得た。

## 1. はじめに

2009年から2010年にかけて、ディズニーなどによる立体アニメーションやジェームズ・キャメロン監督の「アバター」などの3D映画が次々に上映され、「3D元年」とも呼ばれる活況を呈している。立体映像には、様々な方式がある<sup>1,2)</sup>が、2眼式立体映像は、左右の眼に視差のある別々の映像を見せることで映像を立体視させるものである<sup>2)</sup>。

<sup>\*</sup>) 本研究の一部は、「ヘッドマウントディスプレイ上の立体映像の見え方に関する視力測定法による研究」(齋藤英喜, 岸本大海, 長谷川聡, 宮尾克)としてモバイル学会シンポジウム「モバイル'10」(2010.3.18, 名古屋大学)にて齋藤が報告した。

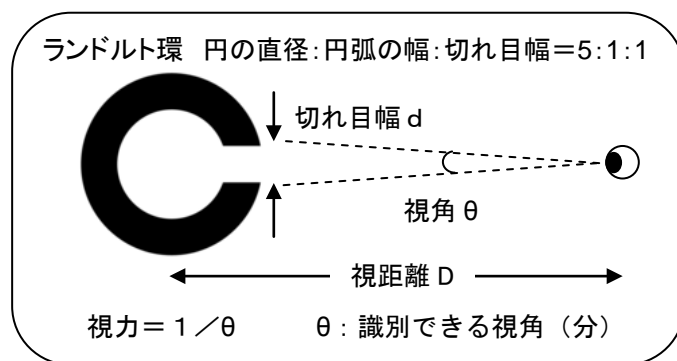


図1 ランドルト環による視力測定

本研究は、単純な円環や、視力測定に用いるランドルト環(図1)を立体視させて、立体像の見え方を調べたものである。

現在、立体映像は、映画館やアミューズメントシアターだけでなく、HMD(Head Mounted Display)とiPhoneなどのモバイル機器で、いつでもどこでも見る事ができ

る(図2)。HMDは、2つの眼前小型ディスプレイを持ち、左右の目に視差像をそれぞれのディスプレイで直接見せて立体視させることができる。

立体映像は、最近、テレビで立体放送も始まり、ゲームにおいても立体映像でプレイできるものも開発されてきている。また、立体映像は、映画・テレビ・アミューズメント施設や万博<sup>3)</sup>をはじめとする各種イベントだけでなく、医療・広告・工業など幅広い分野に応用が進められている。しかし、その反面、不自然な立体映像を見続けることによって、視力低下・眼精疲労・頭痛・吐き気などの身

体への影響が出るとの指摘がある。立体映像による眼精疲労などの原因として、「映像表示機器の特性差」、「過度の両眼視差」、「輻輳と調節の矛盾」などが言われている。しかし、立体映像の生体への影響の原因は完全に理解されたとは言えない<sup>4,6)</sup>。

特に「輻輳(視線の交差)と調節(目のピント)の矛盾」については、適切な視差の立体像では、実際には自然視と同様に立体像の融像距離に同調して調節が変化していることが示された<sup>1,6)</sup>。それでもなお、表示されたディスプレイの視距離と融像距離の差のために、像がボケて見えるのではないかと考え、眼精



(a) HMDとiPhoneの接続



(b) YouTubeの立体映像を視聴

図2 HMDとiPhoneによる立体映像の視聴

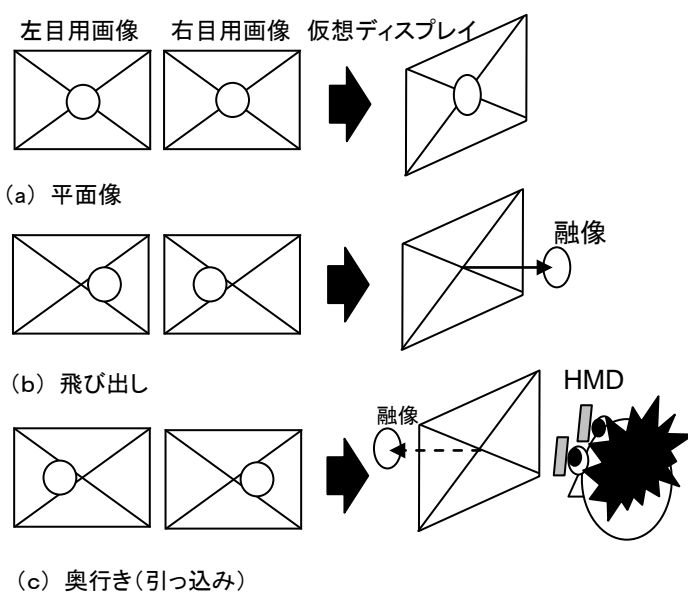


図3 両眼視差像による立体視

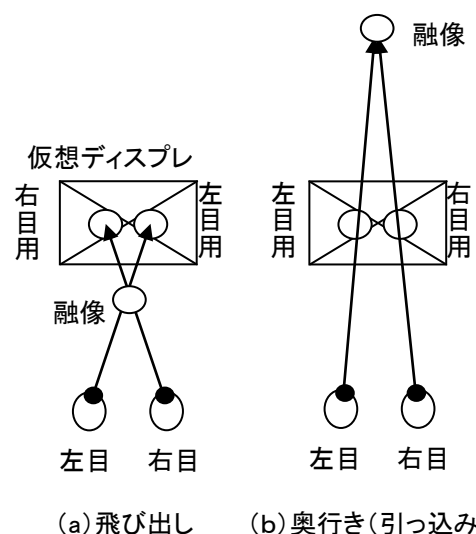


図4 両眼視差像による立体視の原理

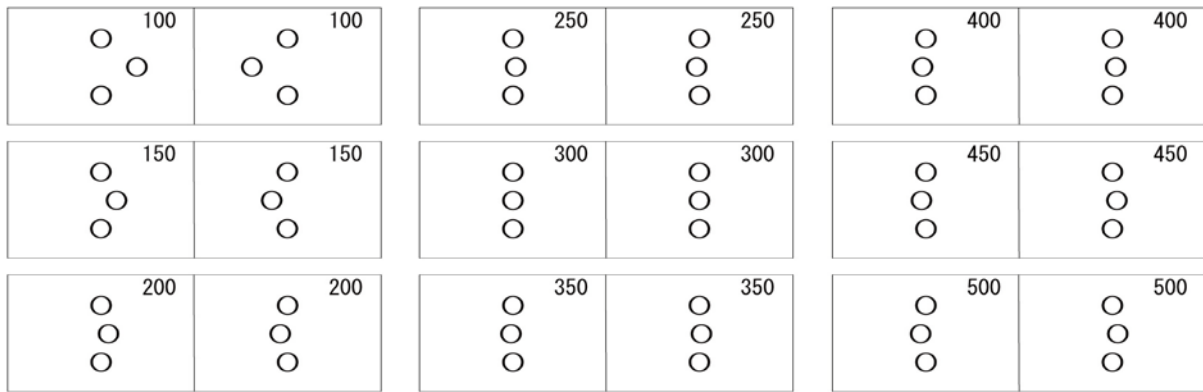


図5 実験1(大きさの認知)で用いた立体像のための視差画像データ(右上数値は融像距離)

疲労の主要因とする主張が見られる。実際に像がボケる(識別能が劣る)のかどうかは、十分検証する必要がある。

本研究では、円またはランドルト環(図1)を、大きさを変えずに単に左右に移動しただけの最も基本的な両眼視差像を使って、HMDで立体視した際に図形がどのように見えるのか(どのくらいの大きさに知覚されるか、ボケずに識別できるか)を検証した。

一般に図形を単に左右にずらすだけで、両眼視差による立体視が可能である。図3のように、右目用画像と左目用画像が同一の場合(図3(a))は立体視は起こらないが、図3(b)のように左目用・右目用で図形をそれぞれ内側にずらすと融合像では図形が手前に飛び出し、図3(c)のように外側にずらすと奥行き方向に引っ込んで見える。これらは、図4のように、輻輳点(左右視線の交叉点)で左右像が融像することによる。

## 2. 実験の方法

HMD(Vuzix Corporation製 iWear AV230XL+, 320×240 pixel, 約2.7m先に44インチの仮想ディスプレイが見える仕様)に、サイドバイサイド形式で作成した静止両眼視差画像を、HMDで立体視して実験に用いた。本研究では、2つの実験、(1)円を立体視させて認知される大きさの検証(実験1)、および(2)ランドルト環を立体視させて識別限

界の測定(実験2)を行った。

### (1) 実験1(立体像の大きさ認知)

同じ大きさの円を3つ描いた画像(図5(300))で、中央の円だけを大きさを変えずに左右に平行移動し、立体視できるようにした。観察者の瞳孔間距離を60mmとした場合の理論値で、目から立体像までの距離が100cmから500cmまで50cm間隔の9通りの立体像(300cmが、ほぼ仮想ディスプレイ位置、つまり平面表示)を用意した(図5)。

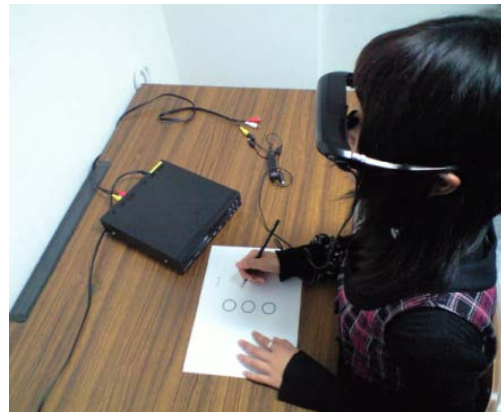


図6 実験1(大きさの認知)の実験風景

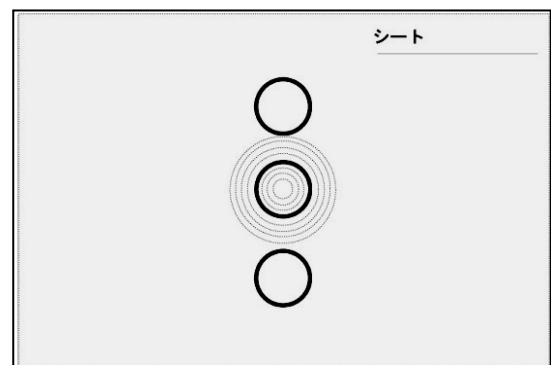


図7 実験1(大きさの認知)の記入シート

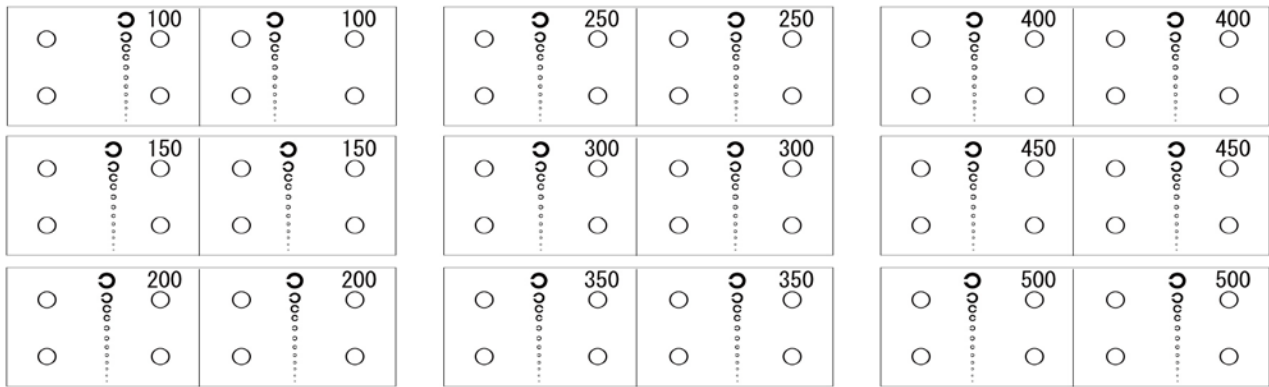


図8 実験2(識別限界)で用いた立体像のための視差画像データ(右上数値は融像距離)

実験(図6)では、中央の円が引っ込む画像と飛び出す画像を交互に表示(上下の円は常に300cmの距離に平面表示)し、1つの画像を見るごとにHMDをはずして記入シート(図7)に、上下の円と比較して中央の円がどのくらいの大きさに見えたのかを鉛筆で描いてもらった。4人の被験者(22歳が3人、44歳が1人)について、被験者ごとに映す立体像の順番を変更して提示し、各人が9通りずつ描いた円の直径をすべて測定した。

## (2) 実験2(ランドルト環立体像の識別限界)

融像距離300cm(平面)の画像(図8)では、中央に縦一列にランドルト環を12種類、通常300cmの視距離で片眼視力を測る際の0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.9、1.0、1.2、1.5、2.0(図1参照)に相当する大きさで配し、四方に4つの円を表示した。大きさを変えずにランドルト環だけを左右に平行移動して視差を設け、目から融像までの距離(瞳孔間距離を60mmとした理論値)が100cmから500cmまで50cm間隔で合計9通りとなる視差像を用意した(図8)。

被験者は、図9に示すように、まずHMDを着け、はじめに平面(融像距離300cm)の画像(図8)を見ながらHMDの左右のピントを合わせ、それ以降ピント位置を変えずに9通りの立体像をそれぞれ立体視した。被験者が立体視したランドルト環の切れ目の方向をどの大きさまで識別できたかを、験者が聞

き取って記録した。普段、視力を矯正している被験者は、実験でもコンタクトレンズやメガネの上にHMDをかけた。延べ18人の男女(平均 $24.6 \pm 7.9$ 歳)について計測した。ただし、測定は立体視が可能な場合のみ(左右像が融合できない場合は除いて)行った。

また、同様の被験者数人について、比較のため、図10のように、実際の視距離を100cmから500cmまで変えて視力測定を行った。



図9 実験2(識別限界)の実験風景

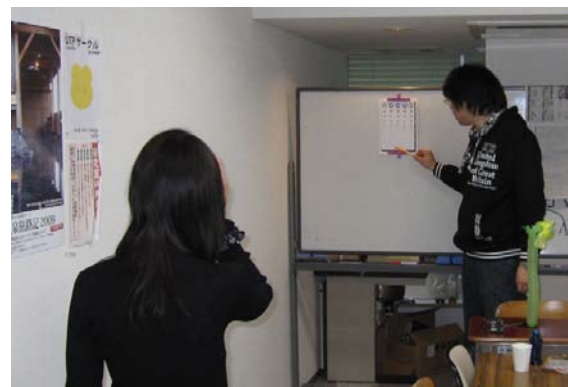


図10 比較のための視力測定

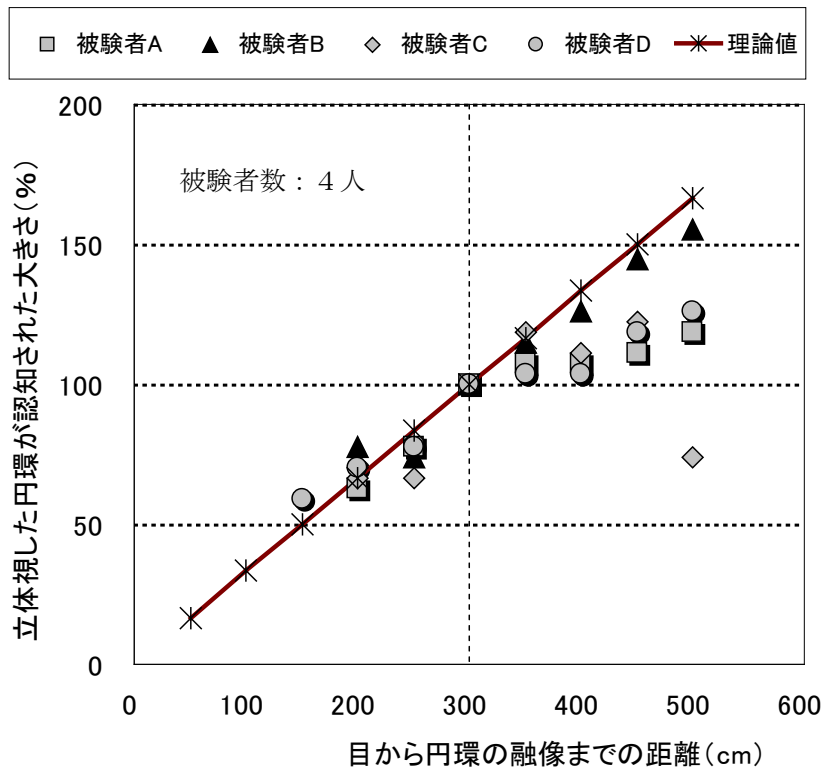


図 11 実験 1 (大きさの認知) の結果

3. 実験の結果

実験 1 (大きさ認知) の結果を図 11 に示す。グラフの縦軸は、提示した立体画像 (図 5) の仮想ディスプレイ平面位置に表示された円環 (目から像までの距離 300cm の 3 つの円、およびその他の融像距離の立体画像の上下 2 つの円) の大きさを 100%とした大きさの比率である。飛び出す画像では円環は小さく、引っ込む画像では大きく認知されている。

これは、図 12 に示すように、仮想ディスプレイ上の円の像に対する視角を保ったまま像が遠方または近方に融像するためと考えられる。実際の物体では近づけば視角が大きくなって物体も大きく見えるのに、単に左右に移動しただけの立体画像では逆に近づくほど小さく見えることを示している。なお実験 1 では、距離 150cm で 4人中 3人、100cm で 4人ともが、像が 2重になって立体視できなかった。図 11 のグラフ中の直線は、今回の画像が図 12 に示す理屈によって認識される

と考えた場合の理論値 (個人差は考慮しない) である。

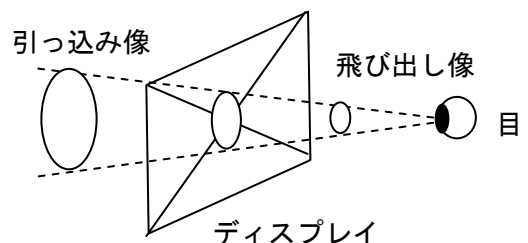


図 12 立体像が認知される大きさ

実験 2 (識別限界) の結果を図 12 および図 13 に示す。図 11 のグラフは、被験者延べ 18人のうち、どの融像距離でも立体視できなかった 3人を除く 15人分の、識別可能な最小ランドルト環の値 (3m視力表の視力値) の平均を表している。ただし図 11 の●は立体視できなかった融像距離の視力値を 0.0として算出した平均、△は立体視できた人のみの平均である。被験者 18人について各融像

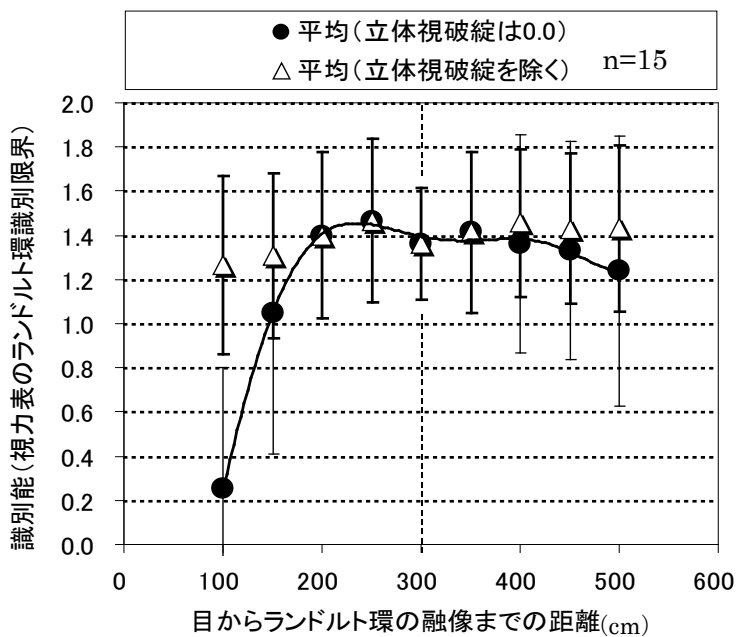


図 12 実験 2 (識別限界) の結果

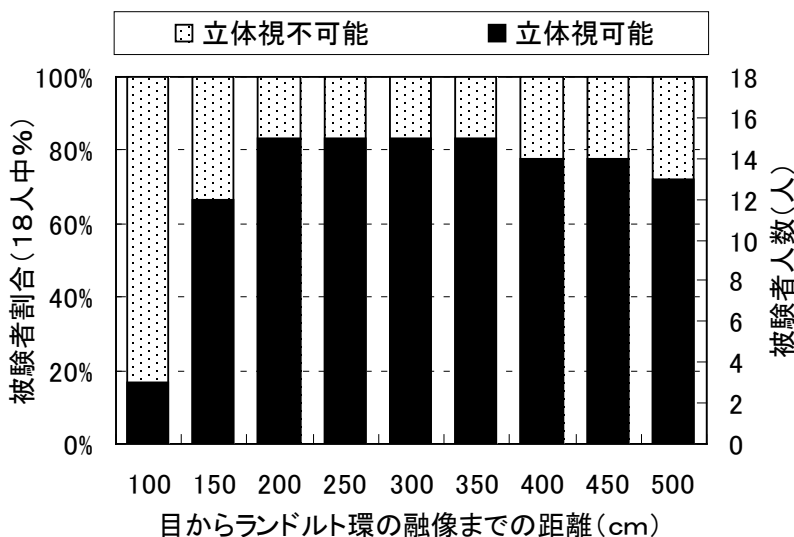


図 13 実験2(識別限界)で立体視できた被験者数

距離で立体視できた人数とできなかった人数 (人, %) は図 13 に示すとおりであった。

また、比較のために行った、実物の視力表での視力測定(図 10)の結果を図 14 に示す。この測定では、視力 0.1 から 2.0 までを測る 300cm 視力表を使って、被験者の立ち位置を変えて 100cm から 500cm まで 50cm 間隔の視距離の違いによるランドルト環識別能を記録したものである。

#### 4. まどめと考察

ランドルト環による視力測定値は、識別できる切れ目の視角が  $\theta$  (分) のとき、視力 =  $1/\theta$  と定められている(図 1)。本研究では 3m 視力表に相当するランドルト環を HMD で視距離およそ 3m の仮想ディスプレイ(仕様では 270cm、瞳孔間距離などの個人差とサイドバイサイド画像の HMD による再現能により今回は視差なし画像が約 300cm に表示

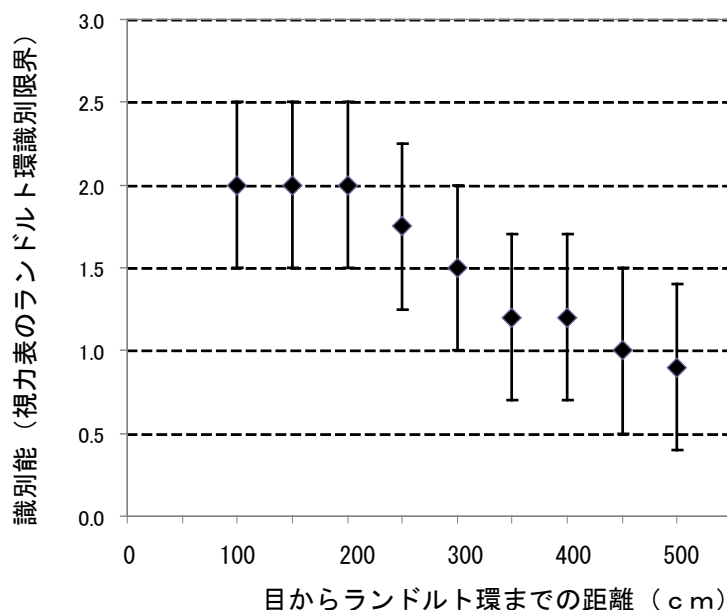


図 14 実物の視力測定(300cm 視力を立ち位置を変えて)

されていた)に表示し、両眼視差により、融像距離を 100cm から 500cm まで 50cm 刻みに設定し、立体視して識別能を調べた。

実像の場合は、視距離を小さくする(視力表を目に近づける)と視角が大きくなるため小さなランドルト環でも識別できるようになる(図 14)が、実験 1 で示した通り、本件のような視差のみの立体像では、融像距離が近づいても視角は同じ(図 12)であり、逆に像が小さく感じられる(図 11)。

したがって、実験 2 の視力測定値(図 11)に融像距離による補正は加えていない。図 12 のように融像距離 150~100cm で融像限界を越えた被験者が多い(個人差や HMD の特性要因による)が、融像限界<sup>7)</sup>を越えない範囲では、融像距離にかかわらず識別能の低下はほとんど見られなかった(図 11)。このことは、立体視で水晶体調節<sup>1,6)</sup>が融像距離に合わせてられているにもかかわらず、融像限界内では(おそらく焦点深度の範囲内で)像がほとんどボケずに見えることを示している。

今後、焦点調節と識別能の同時計測や焦点深度にかかわる瞳孔径の変化の測定を行い、

立体視の視機能への影響および眼精疲労などの要因を解明し、安全な立体映像<sup>8,9)</sup>の科学的な指標のひとつとして反映することが望まれる。

#### 参考文献

- 1) 長谷川, 大森, 渡辺, 高田, 藤掛, 市川, 田原, 小室, 小阪, 宮尾: ヘッドマウントディスプレイ上の立体映像への水晶体調節, シンポジウムモバイル 08, pp.193-196 (2008).
- 2) 河合, 田中: 次世代メディアクリエイター入門 1 立体映像表現, カットシステム (2003).
- 3) 名古屋文理大学愛知万博出展プロジェクト・スタッフ: 愛・地球博「稲沢市の日」における名古屋文理大学の出展記録, 名古屋文理大学紀要, 6, pp.125-139, (2006).
- 4) 原島, 元木, 矢野: 3次元画像と人間の科学, オーム社(2000).
- 5) 矢野, 井出, ハル・スワイテス: 立体画像の見やすさと調節応答からみた視覚

- 疲労, 映像情報メディア学会誌, Vol.55, No.5, pp.711-717, (2001).
- 6) 長谷川, 大森, 渡辺, 市川, 宮尾: ヘッドマウントディスプレイ上の立体像への水晶体調節反応, シンポジウムモバイル'10, pp.121-124, (2010).
  - 7) 長田: 立体映像の観察時における輻輳性融合立体視限界 VFSL の分布, 日本 VR 学会論文誌 Vol.7 No.2, pp.239-246, (2002).
  - 8) 機械システム振興協会: 自然な立体視を可能とする空間像の形成に関する調査研究報告書 (2008).
  - 9) 3D コンソーシアム安全ガイドライン部会: 人に優しい3D 普及のための3D C安全ガイドライン (2009).