

原著論文

小型裸眼3Dディスプレイにおける視認性評価 — 調節と輻輳の同時計測 —

堀 弘樹¹⁾, 塩見 友樹¹⁾, 上本 啓太²⁾, 宮尾 克¹⁾¹⁾名古屋大学 大学院情報科学研究科²⁾名古屋大学 工学部

Legibility Evaluation of Glasses-Free 3D Display - Simultaneous Measurement of Accommodation and Convergence -

Hiroki HORI¹⁾, Tomoki SHIOMI¹⁾, Keita UEMOTO²⁾, and Masaru MIYAO¹⁾¹⁾ Graduate School of Information Science, Nagoya University²⁾ Faculty of Technology, Nagoya University

Abstract: Accommodation and convergence were measured simultaneously while subjects viewed 3D images. The aim was to evaluate legibility of glasses-free mobile 3D display. 3D images (Power3D™, Olympus Visual Communications, Inc.) were presented vertically and horizontally so that we measured and compared legibility in both cases. Measurements were made twice, 40 seconds each. The result suggested that ocular functions during viewing of 3D images are very similar to those during natural viewing, and there was no significant difference between vertical and horizontal cases. Previously-established and widely-used theories, such that within a VR system eyes must maintain accommodation on the fixed display, may need to be corrected.

Keywords: Stereoscopic Vision, Accommodation and Convergence, Simultaneous Measurement, Visual Fatigue

キーワード: 立体視, 調節と輻輳, 同時計測, 眼精疲労

1. はじめに

近年になり, 立体映像の技術が急速に発達してきた. いまや立体映像は映画館だけにとどまらず, 各家電メーカーからも3Dテレビや3Dカメラなどが販売され始め, 最近では携帯電話や携帯ゲーム機などのモバイル端末においても3D化が進んでおり, 誰でも気軽に3Dを体験することができるようになってきた.

立体映像の方式は各種提案されているが, 主に, 両眼に視差の分だけ異なる2つの画像を提示する(サイドバイサイド方式)ことで立体感を起こさせる方式が一般的である. 3Dテレビにおいては, 偏光フィルタを用いて左右眼に別々の画像を分離して提示する偏光表示方式や, 液晶シャッターメガネを用いて, 左右眼に入る映像を時分割で交互に表示するフレームシーケンシャル方式が用いられることが多く, いずれも専用メガネが必要となる. 一方, 携帯電話をはじめとするモバイル端末では, その利用性からメガネなしの裸眼立体表示方式が用

いられており, 画面上にパララックス(視差)バリアを置くことで左右眼に別々の画像を分離して提示するパララックスバリア方式や, 画面上にレンチキュラレンズと呼ばれる蒲鉾状のレンズを置くことで左右眼に別々の画像を分離して提示するレンチキュラ方式が一般的に用いられる. また, 画像をメガネ等で分離して提示するのではなく, 直接左右の眼に別々の映像を提示する小型でウェアラブルな HMD (Head Mounted Display) 方式もある.

しかしながら, このような立体映像技術の進歩とは裏腹に, 3Dを視聴する際の眼精疲労や映像酔いといった身体影響が問題視されているが, 未だに解明されていないのが現状である[1-3]. そういった諸症状の原因を解明する手掛かりとして, 水晶体によるピント調節(図1)と, 両眼の寄り目による輻輳(図2)がある. 通説では, 立体視の場合, 自然にものを見るとときと異なり, 両眼視差によって起こる調節輻輳矛盾が主な原因[4-8]とされているが, これが誤りであることを我々は前報[9-13]で示した. しかしながら, 前報[9-13]では, 専用メガネを要するテレビ画面大から映画館並みの立体表示方式や, 小型ではあるが, 直接左右の眼に別々の画像を提示する HMD 方式での結果であり, 小型で専用メガネなしの裸眼立体表示方式ではない. そこで本研究では, 前報[9-13]と同様に, 携

2011年1月31日受理

2011年3月10日, 11日 シンポジウム「モバイル'11」にて発表

携帯電話のディスプレイと同様の大きさである小型裸眼立体表示ディスプレイを用いて、調節と輻輳の同時計測を行った。なお、携帯電話は持ち方によっては縦表示・横表示が考えられるため、縦表示・横表示の比較も行った。これは、サイドバイサイド方式では、視差によってはディスプレイの左右のフレームに重なる画像が提示されてしまい、それにより違和感が生じてしまうため、一般に横幅が広い方が良いと言われているからである。

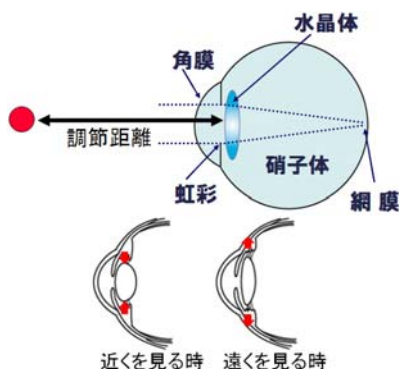


図 1 水晶体調節

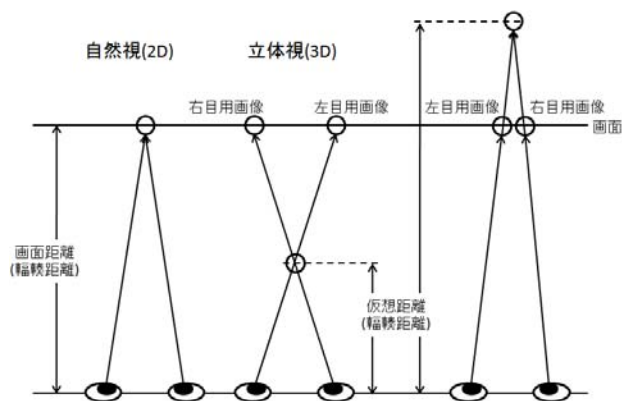


図 2 両眼輻輳

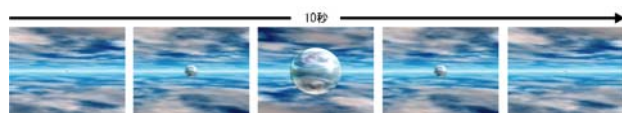


図 3 球体が遠近運動する映像

2. 実験方法

本研究では、若年健常者の男女 13 名 (裸眼 5 名, ソフトコンタクトレンズ矯正 8 名, 平均年齢 23.77 歳 ± 5.10) を対象として行った。実験には前報[13]と同様、背景として雲のある空が描かれており、中心の球体が 10 秒周期で遠近運動する映像 (図 3) を用い、被験者には計測の間、中心の球体のみを注視し続けるように指示した。画像の提示距離は被験者の眼前 40cm とし、理論上、中心の球体を注視した場合は眼前 40cm

から最大 29cm まで球体が飛び出し、背景の空を注視した場合には無限遠となるように作られている。なお、計測には前報 [13]と同様、図 4 に示すような両眼を開放したまま水晶体の調節力を測定することができるグラント精工社製の透過型測定機(両眼開放オートレフケラトメーターWAM-5500)及び、図 5 に示すような WAM-5500 と併用可能で、両眼の視線から輻輳焦点を同定し、輻輳距離を測定することができるナックイメージテクノロジー社製のモバイル型測定機(アイマークレコーダーEMR-9)を組み合わせて用いた(図 6)。実験模式図、実験環境は図 7、表 1 に示す通りである。



図 4 WAM-5500



図 5 EMR-9

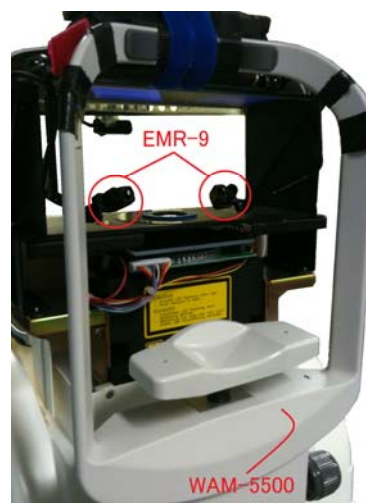


図 6 組合せ

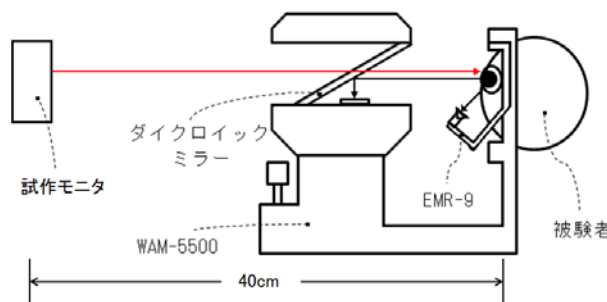


図 7 実験模式図

表 1 実験環境

	球体の位置	縦表示	横表示
球体の輝度 (cd/m ²)	遠	44.3	29.1
	近	47.6	42.8
照度(ℓ x)	遠	106.3	107.5
	近		



図 8 試作モニタ



図 9 LYNX3D

今回実験で用いた中心の球体が遠近運動する映像(図 3)は、オリンパスビジュアルコミュニケーションズ株の商標(Power 3D)で作られた映像である。これは、球体の遠近に合わせてカメラの幅角も変えて、奥行き方向の距離に応じた幅角で撮影した複数の映像を組み合わせて作られた、極めて自然視に近い映像を提供している。また、今回実験で用いた小型裸眼3Dディスプレイ(図 8)は、NTTドコモから2010年12月3日に発売されたスマートフォン・LYNX 3D SH-03C(図 9)の試作モニタであり、ディスプレイサイズ約3.8インチ、最大同時発色数65536色、解像度480×800ドットであり、パララックスバリア方式での3D表示を提供している。

3. 実験結果

被験者13名の調節、幅角に関する測定結果は概ね同様の結果を示した。典型例として1名の縦表示・横表示それぞれの測定結果を図10-図11に示す。また、被験者13名の調節と幅角の差の平均を求めることにより、縦表示と横表示を比較した結果を図12に示す。

3.1 縦表示の実験結果

図10(20歳男性、ソフトコンタクトレンズ矯正)より、調節は2.5D(40.0cm)から4.5D(22.2cm)の間で、幅角は3.0D(33.3cm)から4.5D(22.2cm)の間で球体の遠近に合わせて変化していた。理論的な球体の遠近運動(2.5D(40cm)~3.45D(29.0cm))と比べると、調節、幅角ともに最接近時、最離遠時に若干手前方向にずれが見られるが、振幅・周期ともほぼ一致していた。

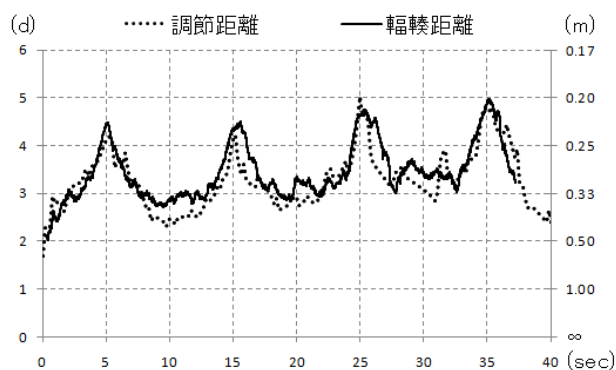


図 10 縦表示

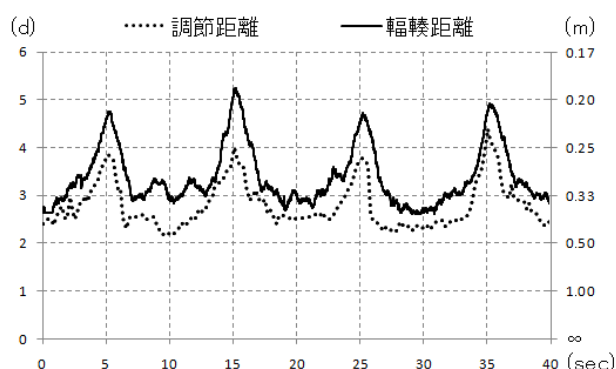


図 11 横表示

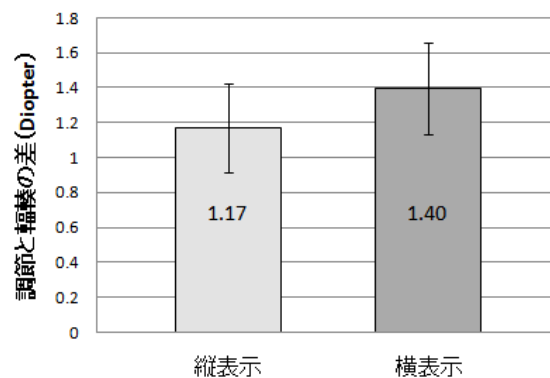


図 12 縦表示と横表示の差

3.2 横表示の実験結果

図11(縦表示と同被験者)より、調節は2.5D(40.0cm)から4.0D(25.0cm)の間で、幅角は3.0D(33.3cm)から5.0D(20.0cm)の間で球体の遠近に合わせて変化していた。幅角に関しては、理論的な球体の遠近運動と比べると、若干手前方向にずれが見られ、調節に関しては、理論的な球体の遠近運動とほぼ一致していた。周期に関しては、調節、幅角ともに同期していた。

3.3 縦表示・横表示の比較結果

図12より、縦表示、横表示の調節、幅角の差(幅角-調節から算出)の平均は、それぞれ1.17Dと1.40Dであった。また、

縦表示・横表示二つの集団の調節, 輻輳の差の平均値に対して有意水準 5%でペアのt検定を行ったところ, 危険率 $p = 0.31$ であり, 有意差は認められなかった。

4. 考察とまとめ

本研究では, 視距離 40cm における小型裸眼3Dディスプレイの縦表示・横表示の視認性について, 水晶体調節距離と, 寄り眼による両眼輻輳焦点距離を計測することによって調べた。一般的には, 立体映像注視時, 水晶体の調節距離と寄り眼による輻輳距離は不整合が起きているとされており, Johnら(1995)によると, 「VRシステムでは, 眼球の輻輳運動はバーチャルな位置に合っているにもかかわらず, 水晶体の調節をスクリーン上に固定しなければならない[4]. 」とされている。また Hong ら(2010)によると, 「立体ディスプレイでは, 実世界での水晶体調節と両眼輻輳の自然な連動(同期)が壊れている[7]. 」とされている。しかしながら, 今回の実験結果(図 10 - 12)によると, 水晶体調節は決して画面の位置に固定されてはいない。また, 若年被験者の場合, 少なくとも, 水晶体の調節距離と両眼輻輳距離の両者が同期して変化しているのが分かる。以上のことから, 立体映像視聴時でも, 自然視と同様の眼のはたらきをしていることが示唆される。

また, 今回の実験結果によると, 水晶体調節と両眼輻輳は, 遠近に同期して変化してはいたが, 調節距離が輻輳距離よりもやや遠方にずれていた。これは, 宮尾ら(1993)による, 「被写界深度の影響で, 自然視でさえ, 輻輳よりもやや遠い位置に水晶体の調節をしているために, 調節と輻輳にはわずかな差がある[14]. 」から, 立体視でも, 自然視と同様のことが起きていることが示唆される。

また, 長谷川ら(2009)によると, 「Power3Dは, 従来の3D技術で作られた映像よりも, より自然な映像を提供している[12]. 」とあり, 従来の3D技術で作られた映像でも, 調節が遠近に同期して動いてはいるが, Power3Dで作られた映像よりも調節が輻輳に足りない結果となっていた。このことから, 同じ3Dディスプレイに対しても, 3Dコンテンツの作り方によっては, 調節と輻輳の一致度合いに差が出てしまうことが示唆される。

以上のことから, 立体映像視聴時の水晶体調節と両眼輻輳は, 決して乖離などしておらず, むしろ整合していると言える。しかしながら, 3Dコンテンツの作り方や, 解像度の違い, また個人差の影響などによっては乖離が起こる可能性も考えられるため, なお, 慎重な研究が必要である。

今後はより例数を増やした実験, また実物体の自然視と, それを3D撮影した3D映像による立体視との比較などを行っていく予定である。

参考文献

- [1] 矢野, 井出, Thwaites, H.: 立体映像の見やすさと調節変動からみた視覚疲労, 映像情報メディア学会誌, vol.55, no. 5, pp. 711-717 (2001).
- [2] 矢野, 江本, 三橋: 両眼立体画像での二つの視覚疲労要因, 映像情報メディア学会誌, vol. 57, no.9, pp. 1187-1193 (2003).
- [3] 坂根, 苗村, 畑田, 他: 立体テクノロジー -次世代立体表示技術の最前線-, 株式会社エヌ・ディー・エヌ (2008).
- [4] Johe P. Wann, Simon R., Mark M.: Natural Problems for Stereoscopic Depth Perception in Virtual Environments, *Vision Res*, vol. 35, no. 19, pp. 2731-2736 (1995).
- [5] Simon j. Watt, Kurt A., Marc O. Ernst., Martin S. Banks.: Focus Cues Affect Perceived Depth, *Journal of Vision*, vol. 5, pp. 834-862 (2005).
- [6] David M. Hoffman., Ahna R. Girshick., Kurt A., Martin S. Banks.: Vergence-accommodation Conflicts Hinder Visual Performance and Cause Visual Fatigue, *Journal of Vision*, vol. 8, no. 33, pp. 1-30 (2008).
- [7] Hong H., and Sheng L.: Correct Focus Cues in Stereoscopic Displays Improve 3D Depth Perception, *SPIE, Newsroom* (2010).
- [8] 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 3DC 安全ガイドライン, (2010).
- [9] Miyao M., Ishihara S., Saito S., Kondo T., Sakakibara H. and Toyoshima H.: Visual accommodation and subject performance during a stereographic object task using liquid crystal shutters, *Ergonomics*, vol. 39, Iss. 11, pp. 1294-1309 (1996).
- [10] 大森, 宮尾, 長谷川, 石原, 石垣, 田原: 立体映像に対する水晶体調節測定, 日本視覚学会 2004 年夏季, *VISION*, vol. 16, no. 4, pp. 223-226 (2004).
- [11] 石原, 大森, 長谷川, 石垣, 宮尾, 田原: 立体映像への水晶体調節, 日本人間工学会第 45 回大会, 人間工学会誌第 40 巻特別号, pp. 532-533 (2004).
- [12] Hasegawa S., Omori M., Watanabe T., Fujikake K., and Miyao M.: Lens Accommodation to the Stereoscopic Vision on HMD, *Lecture Notes in Computer Science*, 5622/2009, pp. 439-444 (2009).
- [13] 堀, 塩見, 他: 立体映像注視時における調節と輻輳の同時計測, 第 15 回バーチャルリアリティ学会大会論文集 (2010).
- [14] Miyao M., Otake Y., Ishihara S., Kashiwamata M., Kondo T., Sakakibara H., and Yamada S.: An Experimental Study on the Objective Measurement of Accommodation Amplitude under Binocular and Natural Viewing Conditions, *Tohoku, Exp. Med*, vol. 170, pp. 93-102 (1993).

著者紹介



堀 弘樹(学生会員)

1987年5月27日生まれ。2010年名古屋工業大学工学部情報工学科卒業。同年名古屋大学情報科学研究科博士前期課程入学，現在に至る。機械学習やデータマイニングにおける，述語論

理を応用した関係型データマイニングの研究を経て，現在は人間工学，特に立体映像の生体特性に関する研究に従事。学士(工学)。バーチャルリアリティ学会，日本視覚学会学生会員。



塩見 友樹(学生会員)

1986年3月16日生まれ。2010年立命館大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。同年名古屋大学情報科学研究科博士後期課程入学，現在に至る。立体映像注視時の視機能測定に関する研究に従事。修士(理学)。バーチャルリアリティ学会学生会員。

立体映像注視時の視機能測定に関する研究に従事。修士(理学)。バーチャルリアリティ学会学生会員。



上本 啓太(非会員)

1988年5月26日生まれ。2011年名古屋大学工学部電気電子情報工学科卒業。同年名古屋大学情報科学研究科博士前期課程入学，現在に至る。長時間立体映像注視に関する研究に従事。

学士(工学)。バーチャルリアリティ学会学生会員。



宮尾 克(正会員)

1977年名古屋大学医学部医学科卒。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・情報連携基盤センター)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。日本人間工学会評議員，日本社会医学会理事，日本学校保健学会理事・事務局長。モバイル学会 理事、副会長。