

## ADS-1-2

# 疲労の少ない自然な3Dをめざして Toward Natural 3D Images with Less Visual Fatigue

宮尾 克 石尾広武\* 上本啓太 塩見友樹 堀 弘樹  
Masaru Miyao Hiromu Ishio Keita Uemoto Tushin Tomoki Shiomi Hiroki Hori

名古屋大学情報科学研究科, \*福山市立大学都市経営学部  
Graduate School of Information Science, Nagoya University, \*Faculty of Urban Management, Fukuyama City University

## 1. はじめに

3D映像は眼が疲れるといわれてきた。その原因として、調節-輻輳矛盾説が上げられてきた。

しかし、3D映像でも、水晶体調節はバーチャルな位置に移動することがわかった。そうなら、画面上の映像に対して、バーチャルな位置に調節のピントが合うのならば、映像がボケて見えるのではないかと、という疑問が出てきた。また、調節-輻輳矛盾説が眼疲労の原因でないなら、なにが疲労の主因なのか、という疑問も上がっている。こうした新たな疑問に解答を与え、疲労の少ない自然な3Dを実現するための方向性を論じたい。

## 2. 鮮明な3D映像とは

### (1) 立体映像の手がかり

ものを立体的に見るといえることには、実に多くの手がかりがあり、すでにそれぞれの手がかりごとに詳細な研究がある。たとえば、①水晶体の焦点調節、②両眼の輻輳、③両眼視差、④単眼運動視差、⑤物の大小、⑥物の高低、⑦物の重なり、⑧きめの粗密、⑨形状、⑩明暗(陰影)、⑪コントラスト、⑫彩度、⑬鮮明度などが指摘されている。

### (2) 3D映像による眼疲労の原因の従来の説明

従来、3D映像を見ているときの水晶体の焦点調節(ピント)は、画面に合っている、とされてきた。3Dコンソーシアムの安全ガイドライン<sup>1)</sup>では、次のように述べられている。「両眼視差による立体では、ディスプレイ面とは異なるところに物体を知覚する。一方、ピントはディスプレイ面に合うが、この乖離が大きいと、視覚疲労、不快感を生じるとされる。そのため立体を「快適に」楽しむための奥行き(飛び出し、引っ込み)範囲、すなわち快適視差範囲が存在する。」

## 3. 調節-輻輳矛盾説の誤り

### (1) 3D映像に対する水晶体調節と輻輳の同時計測

若年の被験者を用いて、3D映像に対する水晶体調節と輻輳の同時計測を行なった<sup>2)</sup>。本研究では、グランド精工社製のオートレフ/ケラトメーターWAM-5500(図1)と、ナックイメージテクノロジー社製のアイマークレコーダーEMR-9(図2)である。本実験で使用した立体映像はオリンパスビジュアルコミュニケーションズ(株)独自のOLYMPUS POWER3D(商標)を用いて作成されたCG立体映像である。

図3で示したようにWAM-5500とEMR-9を組み合わせ、左のディスプレイに提示される3D映像(図4)を被験者が見ているときに水晶体調節と両眼輻輳を同時

測定した。輻輳は、両眼の視線を分析し、事前にキャリブレーションとして9点を注視させ、焦点の眼からの距離を算出するソフトで計算した。

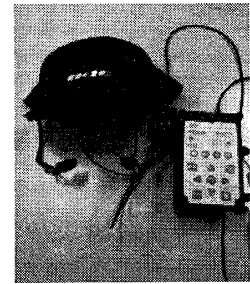
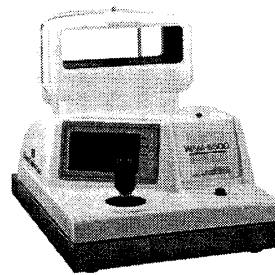


図1. WAM-5500 オートレフ 前面開放型で調節測定  
図2. EMR-9 アイマークレコーダ

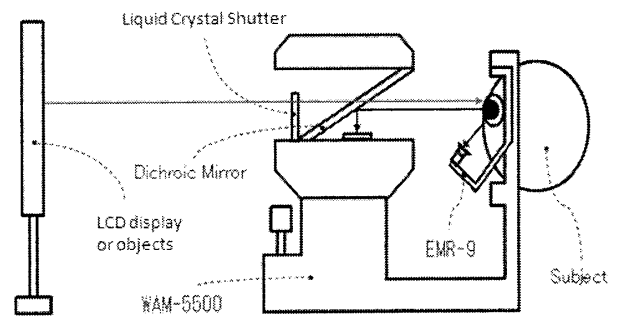


図3. 実験の模式図

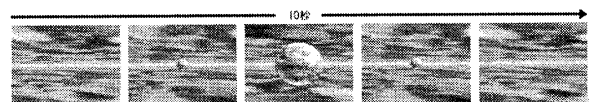


図4. 提示した3D映像(10秒周期の球体遠近運動)

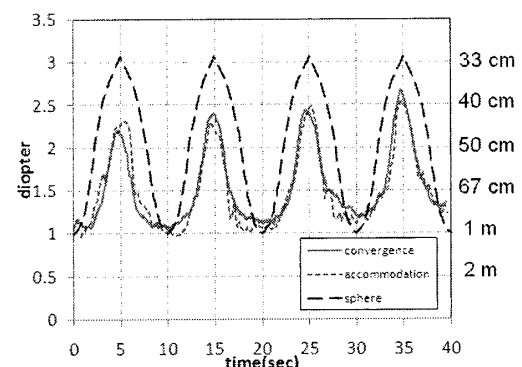


図5. 調節と輻輳の同時測定(23歳・男性・3D映像)

測定の結果の1例を図5で示し、大きな点線は、3D映像の仮想的な位置を示している。調節も輻輳もほぼ3Dの遠近に同期して相似の遠近運動をしている。

#### (2) 調節-輻輳矛盾説の今後

国内外の多数の文献<sup>3-5)</sup>が立体映像を見ている際には調節と輻輳が矛盾を起し、それが諸々の悪影響の一因であるということを前提に、立体映像視聴時の疲労や立体映像表現のあり方について述べているが、実際に調節と輻輳がどのように変化をしているのかを実測した研究は見当たらなかった。

一方、3D映像の前後の動きに応じて、水晶体調節が変化するという報告は著者らにとどまらず、水科<sup>7)</sup>からも立体映像観視時の調節・輻輳応答を報告している。

今後は、水晶体調節が3Dの前後方向への動きに同期することを前提に、自然な眼の疲れのない映像にするにはどうすべきか、が問われることになるであろう。

#### 4. 調節のズレとボケの自覚や視認性

1mの距離にあるディスプレイは、瞳孔間距離 65mmの場合、輻輳角は $3.72^\circ$ である。1度大きい輻輳角は、 $4.72^\circ$ であり、これは、78.7cm (1.28D)の視距離(瞳孔間距離 65mm)である。したがって、1mの距離にある画面に3D映像を表示し、仮想的な距離を視差1度だけ接近させると、近視状態で遠方のターゲットを注視することに同値となるが、それは、 $-0.28D$ の近視の場合の視力に他ならない。0.5D以内の近視・遠視は、正視とみなされるように、この程度の「近視状態」で画面の表示がボケては見えず、鮮明に見えることは自明といえる。

50cm (2D)の距離に画面をおいて、仮想的な3D映像を33cmまで飛び出させて見せた場合、水晶体調節のピントが飛び出し位置に合っているとすると、どの程度ボケるであろうか。図6に、乱視のない児童の近視の度による視力の低下の程度が示されている。これは、名古屋市教育委員会が、低視力者の精密検診を市内200余の眼科クリニックに依頼して、1998年から2009年まで膨大な検査をした結果から抽出したものである。

これによれば、33cmに飛び出したところにピントがあれば、 $-1D$ の近視の遠距離視力に等しい視力低下(ボケ)を生むことになる。その値は、図6で、およそ視力0.5である。0.5程度の低視力では、文字ではない画像ならばボケの自覚は少ないと考えられる。

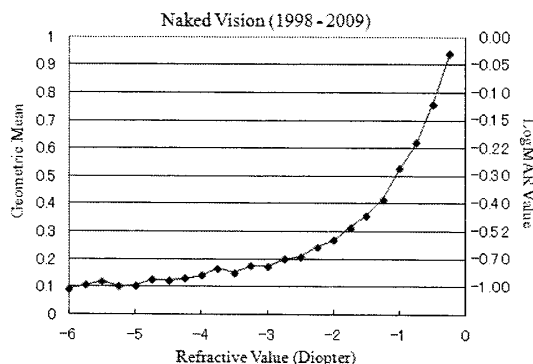


図6. 乱視のない小学校5年生の屈折値別の裸眼視力

#### 5. 瞳孔径の縮小と被写界深度

画面が明るく、そのため瞳孔径が縮瞳すると、ピンホール効果によって、被写界深度が深くなり、視力が向上する。ピントのあっている視距離の範囲が広がる。

表1. Westheimerの瞳孔径と視力(555nmの光)

瞳孔径(mm)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
Cut-off空間解像度(Hz/min arc)	0.26	0.52	0.79	1.05	1.31	1.57
およその視力	2.0	1.0	0.65	0.5	0.4	0.3

表1で、瞳孔径が0.5mmまで縮瞳すると、視力2.0に相当する被写界深度のおかげで、高い空間周波数の認知が可能となる試算を示している。2mm径くらいはよくある数値で、0.5の視力に相当する空間解像度がえられる。

#### 6. 仮想位置に置いたD映像とのボケの比較

仮想位置に水晶体調節のピントが合う若年被験者を用いて、飛び出した3D映像と、その仮想位置に置いた2D映像とのボケ=鮮明度低下の比較実験を行なった。石尾-上本実験です。本学会での講演参照。結論的には、3Dの「画質=ボケのなさ」は2Dと遜色なかった。

#### 7. 自然な3D映像とは

我々は、オリンパスVCのパワー3D™を用いて実験を行なった。これは、近方視と遠方視の双方で、自然な見え方をするように撮影された特別な映像である。この分野で、CGにとどまらず、遠景と近い人間の動作の両方が不自然でなく撮影できる手法の開発が待たれる。

#### 文献

- 人に優しい3D普及のための3DC安全ガイドライン 2010年4月20日改訂 3Dコンソーシアム(3DC)安全ガイドライン部会
- 実物体と2D映像, 3D映像を用いた水晶体調節反応と輻輳運動の長時間同時測定-若年者と中高齢者の立体視機構の違い. 塩見友樹, 宮尾克ら, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 16(2):139-148, 2011.
- Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue; David M. Hoffman, Martin S. Banks, et.al. Journal of Vision. 8(3):33, pp1-30(2008)
- Visual fatigue caused by viewing stereoscopic motion images: Background, theories, and observations; Kazuhiko Ukai, Peter A. Howarth. Displays, Vol.29, pp106-116(2008)
- 焦点調節と被写界深度を反映した立体映像表現; 柴田隆史, 河合隆史ら. 日本人間工学会大会講演集, Vol.43, pp416-417(2007)
- 立体映像および実物体観視時の調節・輻輳応答の静特性と動特性. 水科晴樹, 根岸一平, 安藤広志, 正木信夫. 映像情報メディア学会誌. 65(12):1758-1767, 2011.
- Persona Communication. 宮尾克の未発表のデータ. 協力: 名古屋市教育委員会, 名古屋市学校医(眼科)会.
- Pupil size and visual resolution. Gerald Westheimer. Vision Research, 4:39-45, 1964.