

立体映像に対する水晶体調節の測定

大森 正子*・宮尾 克*・長谷川 聡**・石原 伸哉***
石垣 尚男****・田原 博史*****

*名古屋大学 情報連携基盤センター・**名古屋大学大学院 情報科学研究科

愛知教育大学・*愛知工業大学・*****アイパワースポーツ(株)

*〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

1. はじめに

立体映像がヒトの視覚に与える影響について多くは作業課題の前と後に、生体計測あるいは自覚症状調査を実施し、そこから映像の質や人体負荷の程度を推定し影響を論じている¹⁾。また、自然視の状態では、輻輳と調節の奥行き情報は一致しているが、両眼視差を利用した立体映像を観察する場合、輻輳は再生される立体映像の位置に働くのに対して、水晶体の調節は画像提示面(ディスプレイ)に固定されると従来考えられてきた。このために生じる、輻輳と調節との奥行き情報の矛盾が生ずるとして、視覚系の不整合と呼んできた。

しかし、我々の調節系の客観的測定から、調節も、輻輳にリンクして変動していることが確認され²⁾、立体映像システムを快適に見るためには、いかに質的に改善するのかを、別の視点で提示すべき段階に至った。

そこで、立体動画が人の視覚機能へ与える影響について検討するため、両眼視、自然視状態で注視したときの水晶体調節測定実験を行った。

2. 実験方法

2.1 水晶体調節測定装置と刺激

実験では、独自に開発した^{3,4)}、水晶体調節測定装置を使用して、飛び出しと奥行き方向に運動する立体映像(図1)を両眼視による自然視条件下で60秒間測定した。

水晶体調節測定は、画面から被験者の眼まで視距離57cmとし、両眼でハーフミラーを経て、提示画面を注視したときの右眼水晶体の屈折をAccommo-Refractometer(Nidek AR-1100)で計測した。図2に装置を示す。

2.2 実験手順

実験は、視差バリア方式液晶ディスプレイ(シャープPC-RD1-3D,以下LCD)と液晶シャッター眼鏡を併用したブラウン管式立体映像システム(アイパワースポーツ社,以下CRT)の2種類を用い、3Dソフト“Sky Vision”(アイパワースポーツ社)を使用して、以下の4実験を行った。

実験1 立体動画の水晶体調節測定

被験者は、21歳の男性健常者2名で、屈折は ± 0.5 ディオプター(D)以下の正視であった。被験者は、いずれも自覚的に十分な立体視が得られた。

呈示画像は、LCDに立体表示された球体が観察者に対して近づき遠ざかる往復運動で周期10秒とした(図3)。

被検者には球体の中央部を注視するよう教示

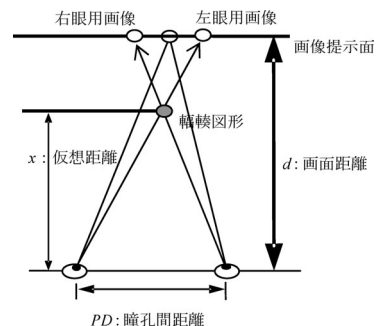


図1 両眼式立体画像表示システム。

し、両眼で立体映像を注視している間の、右眼の水晶体調節を60秒間測定・記録した。

実験2 LCDとCRTの立体動画像視聴時の水晶体調節測定

被検者は19歳および20歳の男性健常者で、屈折は $\pm 0.5D$ 以下の正視であった。

呈示画像は実験1で使用した立体画像と同じで、注視時間は60秒とし、両眼で立体映像を注視している間の、右眼の水晶体調節を測定・記録した。

実験3 LCDにおける、静止立体画像の遠方から近方へ移動したときの水晶体調節測定

被検者は、20歳と36歳の男性健常者各2名の計4名で、屈折は $\pm 0.5D$ 以下の正視であった。LCDを用い、呈示画像は、実験1,2で使用した立体映像と同じであるが、本実験では、観察者に対して球体の遠方静止立体画像を30秒、その後、球体の近方静止立体画像を30秒注視しているときの水晶体焦点調節を測定した。

実験4 LCDにおける、3Dと2Dでの動画立体映像注視時の水晶体調節測定

被検者は、男性健常者6名（平均年齢 21.4 ± 0.5 歳）で、屈折は $\pm 0.5D$ 以下の正視であった。

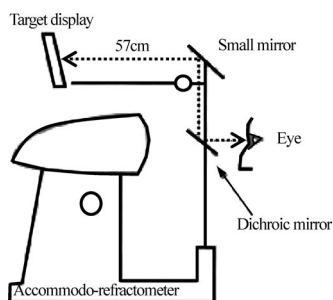


図2 測定装置。

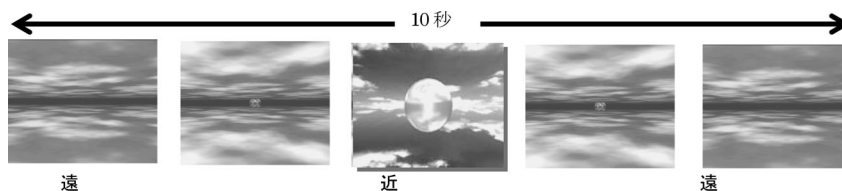


図3 提示した3D映像（中央の球体が遠近を繰り返す）。

LCDを用い、呈示画像は実験1-3で使用したのと同じ立体映像であり、球体が観察者に対して近づき遠ざかる周期10秒の往復運動である。本実験では、立体映像注視時の60秒間の水晶体焦点調節を2Dと3Dそれぞれについて測定した。

3. 結果と考察

実験1 立体動画像の水晶体調節測定

図4の被験者F.Tは、遠点が約 $-0.5D$ であり、約2m遠点に焦点を合わせている。つまり、実際の画面より遠いところに焦点を合わせる傾向が示唆された。また、最大調節（近点）は、約 $2.2D$ であり、眼前約45cmに水晶体調節がきていることが示唆された。ただし経験的に、若年者は、実際の距離より $0.3D$ ないし $0.5D$ の調節範囲があることから、実際は、被験者F.Tの最大調節（近点）は $2.7D$ 、つまり眼前37cmと考えられた。

このように、立体映像の遠・近の動きに対する焦点調節運動の測定により、立体画像を注視することで、パソコン画面上で3m程度の遠望が確認された。このことから、立体映像の動きとともに、毛様体筋、毛様体小帯は、近望時には緊張し、遠望時には緊張緩和していることが客観的に確認された。

実験2 LCDとCRTの立体動画像視聴時の水晶体調節測定

CRTによる立体映像を注視している間、視標が仮想的に最も近づいたときに一致して、近方に焦点を結ぶような水晶体調節が起きていた（図5, 6）。最近点における水晶体調節は、被検者Aでは輻輳角にほぼ等しく、被検者Bでは輻輳角の値より大きかった。また、視標が仮想

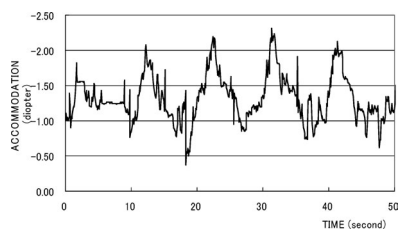


図4 水晶体調節
(被験者 F.T, 21 y. o. male).

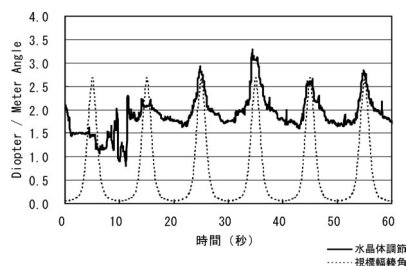


図5 水晶体調節 (被験者 A, CRT).

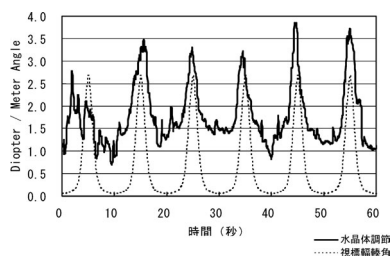


図6 水晶体調節 (被験者 B, CRT).

的に最も遠ざかったときの水晶体調節は、被験者 A では画面の視距離に相当する約 1.7D であったが、被験者で B は約 1.4D と、実際の画面より遠いところに焦点を合わせる傾向が認められた。

LCD においても (図 7, 8), 視標が仮想的に最も近づいたとき、近方に焦点を結ぶような水晶体調節が起きていた。被験者 A では水晶体調節は CRT の場合より小さく、被験者 B では視標が仮想的に往復するたびに、最近点における水晶体調節が漸減する傾向が見られた。

以上より、立体映像を見ているときの水晶体調節は輻輳角に強く影響されることが示された。また、液晶シャッター眼鏡の有無にかかわらず、いずれも水晶体調節が仮想的な遠近の動きにそってなされることが確認された。

実験 3 LCD における、静止立体画像の遠方か

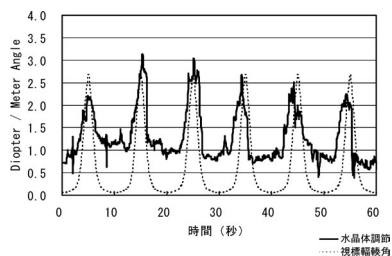


図7 水晶体調節 (被験者 A, LCD).

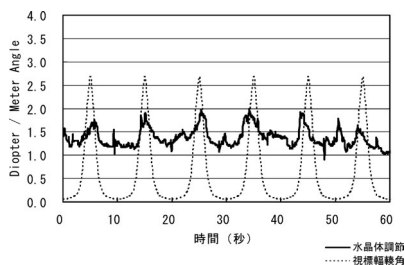


図8 水晶体調節 (被験者 B, LCD).

ら近方へ移動したときの水晶体調節測定

遠方静止立体画像と近方静止立体画像を 30 秒間ずつ注視させたときの水晶体調節測定を行った結果を図 9 に示す。遠点の焦点調節は画面の視距離と相当する約 1.6D であったが、近点は最大 4.6D と、眼前 21 cm の距離に焦点調節されており、静止画像においても、遠方近方ともに、焦点調節されていることが確認できた。また、遠方より、近方においてより調節されていることが示唆された。

実験 4 LCD における、3D と 2D での動画像注視時の水晶体調節測定

3D で立体映像を注視し、視標が仮想的に遠ざかるとき、水晶体も視標に追従して遠方に焦点を結んでいた。図 10 の被験者 F.T は、遠点が約 0.65D であった。これは、約 1.5m 遠点に焦点を合わせていることが示唆され、実際の画面より遠いところに焦点を合わせる傾向が認められた。また、被験者 F.T (図 11) も、近点が約 1.9D (55 cm)、遠点が 0.25D (4m) と、実際の画面より近いところから、遠いところへと焦点調節されていることが確認できた。被験者 K.Y は、遠点が 1.3D (約 80 cm) であるが、最大調節 (近点) は、約 2.7 D であり、眼前 37 cm に水晶体調節がされ、ほぼ視標に一致し

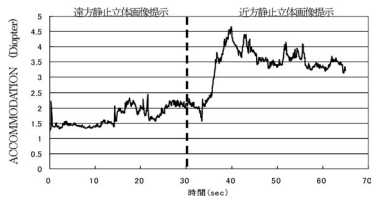


図9 被験者‘T.H’ 35 y. o. male.

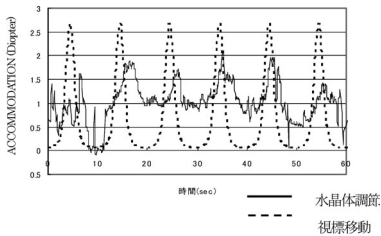


図10 被験者‘F.T’ 21 y. o. male-3D-

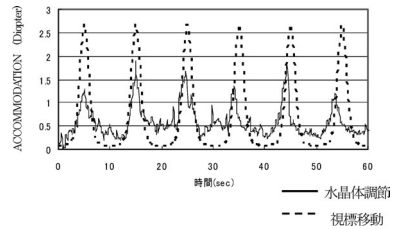


図11 被験者‘F.T’ 22 y. o. female-3D-

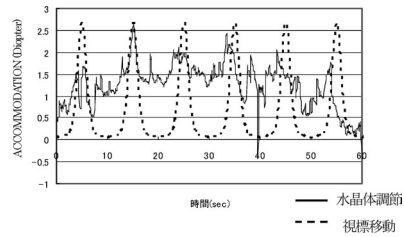


図12 被験者‘K.Y’ 21 y.o. male-3D-

て焦点を結んでいた (図12)。

しかし、2Dで立体映像を注視しているときの水晶体調節は、3Dで認められた、視標に追従する焦点調節ほどの変化は認められなかった。ただし、遠点から近点へ視標が移動するとき、一瞬ではあるが焦点調節に変化が認められた。しかし、その変化は持続するものではなかった。以上より、立体映像の動きに追従した、遠望と近望の繰り返しにより、2Dより3Dにおいて、眼の毛様体筋、毛様体小帯のストレッチ効果がより効果的に得られることが確認できた。

4. ま と め

立体動画像が人の視覚機能へ与える影響について検討するため、両眼視、自然視状態での水晶体調節測定を行った結果、

- 1) 視標の動きに追従して、遠方と近方に焦点調節されていることが確認できた。このことは、眼の毛様体筋、毛様体小帯が、近望時には緊張し、遠望時には緊張緩和していることが客観的に確認された。
- 2) 液晶シャッター眼鏡の有無にかかわらず、水晶体調節は仮想的な遠近の動きにそってなされることが確認された。
- 3) 静止立体画像においても、遠方と近方に焦点調節されていることが確認された。
- 4) 表示画面モードが2Dより、3Dにおいて、

立体映像の焦点調節は変化する。

また、近見と遠望視の繰り返しストレッチングにより、VDT作業の疲労緩和に利用しうることを示している⁵⁾。

文 献

- 1) 岩崎常人：3Dディスプレイを用いた視覚負荷による眼精疲労。日本人間工学会誌，38，44-53，2002。
- 2) 大森正子，渡辺智之，高井城，宮尾克，中谷仁，泉原雅之：立体映像を利用したコンピュータ作業者のリラクゼーション。3D映像，14，43-46，2000。
- 3) Y. Otake, M. Miyao, S. Ishihara, N. Kashiwamata, T. Kondo, H. Sakakibara and S. Yamada: An experimental study on the objective measurement of accommodative amplitude under binocular and natural viewing conditions. *Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 170, 93-102, 1993.
- 4) M. Miyao, S. Ishihara, S. Saito, T. Kondo, H. Sakakibara and H. Toyoshima: Visual accommodation and subject performance during a stereographic object task using liquid crystal shutters. *Ergonomics*, 39, 1294-1309, 1996.
- 5) M. Omori, T. Watanabe, J. Takai, H. Takada and M. Miyao: An attempt at preventing asthenopia among VDT workers. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 9, 453-462, 2003.