見かけの距離に対する調節および輻輳の反応特性

○武田常広 橋本佳三(生命工学工業技術研究所) 比留間伸行(NHK放送技術研究所)

Response Characteristics of Accommodation and Vergence toward Apparent Distance
Tsunehiro Takeda, Keizo Hashimoto(National Institute of Bioscience and Human-Science) and
Nobuyuki Hiruma(Science and Technical Research Labs., NHK)

1. はじめに

立体映像などで目を長時間酷使するために起きるとされる視覚疲労の人間工学的研究のため、眼の諸機能を定量的に測定する方法が求められてきた。我々は、眼の3大機能である調節・眼球運動・瞳孔反応を同時に計測できる3次元オプトメータ(TDOⅢ: Three Dimensional OptometerⅢ)と、調節および輻輳を種々組み合わせる刺激できる3次元視覚刺激装置(TVS: Three-dimensional Visual Stimulator)を開発し^{1),2),3)}、それらを用いて立体映像による調節・輻輳の動特性変化を定量化するための基礎実験を行った。

2. 方法

図1にTDOⅢとTVSを用いたの実験風景を示した。被験者は、アゴ台に頭部を固定し、赤外光のみを反射するガラス板を通して視対象を見ることが出来る。装置より出る調節測定用赤外光を、光学リレー系を用いて、被験者の眼がどこを向いても、常に被験眼に垂直に入射できるようになっている。

眼の機能を詳細に解明するためには、視標を両眼独立に、方向、距離、大きさ、明るさなどを自由にえて提示できる装置が不可欠である。そこで、TDOⅢのリレーレンズ系の双対系とバダール光学系および2台の液晶プロジェクタを用いて、そのような要請を満足する装置TVSを用いて視覚刺激を与えた。

3人の被験者に対して次のような2条

件の実験を行った(条件Rは実視標を、条件Sは立体映像を想定したものである)。

条件R: -1Dと-3Dの位置に、それぞれの距離に応じた輻輳角、大きさの視標(それぞれ遠刺激および近刺激と呼ぶ)を、ステップ状に10秒ずつ、それぞれ5回ずつTVSで提示した。刺激の形状は黒地に白のマルタ十字とした。約1分の休憩をはさみ、この課題を12回繰り返した。

条件S: 遠刺激は条件Rと全く同様に提示し、近刺激として、-3Dの距離に応じた輻輳角、大きさを持つ視標を、-1Dの位置、すなわち遠刺激の位置に提示した。

3人の被験者のうち、被験者HKのみ約-5Dの近視、他の2人(HN, IY)は正視であったので、HKに対しては、-1Dと-3Dのかわりに-6Dと-8Dになるようにレンズでシフトさせた。

3. 結果

図2に、それぞれの場合について、視標が遠刺激から近刺激へステップ状に移動し、再び遠刺激へステップ状に戻る過程に対する応答

図1 実験風景

図2 実視標および立体映像による調節応答

のうち調節だけを示した。測定データは、まず明らかに瞬目によるアーチファクトと見なせる部分をスプライン関数で補間⁴⁾した後、 $4 \times 12 = 48$ 回分を平均して、被験者ごとに実視標、立体映像の順に示した。縦軸の一マスが、 $1.0D$ を示し、時間軸(横軸)は一マス5sで、遠刺激→近刺激、近刺激→遠刺激の切り替えが、5s、15sの時間軸のところでそれぞれ行われた。なお、被験者HKは $-5D$ の近視なので、他の2名の正視被験者とは応答がシフトしている。

調節は、両条件とも、遠→近のステップ応答においてややオーバーシュートし整定した。近刺激に対する整定値(Near)と、ステップ変化の直後のピーク値(Peak)およびステップ変化の前の遠刺激に対する整定値(Far)との差の絶対値をそれぞれ行き過ぎ量(N-P)、定常反応量(F-N)と定義すると、定常反応量(F-N)は、立体映像の場合に実視標の場合の $0.4 \sim 0.7$ (定常反応量(S)/定常反応量(R))と小さく

なったが、行き過ぎ量(N-P)は、立体映像の場合に実視標の場合の $1.0 \sim 3.8$ (行き過ぎ量(S)/行き過ぎ量(R))と、同程度以上となった。また、行き過ぎ量と定常反応量との比については、実視標のとき、行き過ぎ量(R)/定常反応量(R)が $0.1 \sim 0.3$ であったが、立体映像のときには、行き過ぎ量(S)/定常反応量(S)は $0.5 \sim 1.0$ と大きくなった。なお、近→遠のステップ応答では、両条件とも、このような顕著なオーバーシュートは概ね見られなかったが、被験者HNの立体映像に対する反応で、減衰振動しながら整定値に落ちつくという現象が見られた。おそらく、被験者は輻輳による立体感に誘発され調節を無意識的に行ったが、意外にもボケが増加してしまったので再度遠方に調節を修正したものと思われる。逆に、近→遠に対する反応では、調節ラグのため、もともと焦点が少し遠方に合っているので、大きな調節が起きず、オーバーシュートはあまり見られなかったものと考えられる。一方、輻輳は、実視標と立体映像を比べても、どの被験者もそれほど大きくは変わらず、また、遠→近、近→遠のどちらの場合にも、顕著なオーバーシュートは見られなかった。

4. 結論

立体映像と実視標のステップ刺激を、TVSで視標の距離に関する条件のみを変えて提示し、TD0 IIIを用いて調節・輻輳反応を同時計測した。その結果、立体映像では、視標に実際の距離の変化はなくボケの量が一定であるにもかかわらず、輻輳による立体感に誘発されて、顕著なオーバーシュートに続き実視標に対する反応量の $0.5 \sim 0.8$ 程度のかかなり大きな定常調節応答とともに、が計測された。一方輻輳は、実視標・立体映像で大きな差はなく、ステップ変化の直後の顕著なオーバーシュートも見られなかった。

参考文献

- 1) Takeda T. et al.: Three-dimensional optometer, Applied Optics, 27, 14, 2595-2602(1988).
- 2) Takeda T. et al.: Three-dimensional optometer III, Applied Optics, 32, 22, 4155-4168(1993).
- 3) Takeda T. et al.: Three-dimensional visual stimulator, Applied Optics, 34, 4, 732-738(1995)
- 4) 橋本佳三ら：調節微動のパワースペクトル解析に関する一考察－最大エントロピー法(MEM)と高速フーリエ変換(FFT)－, 視覚の科学, 15, 4, 211-218, 1994.