

調節刺激可変なステレオディスプレイ視聴時の近見反応

鳥居 正人*・鶴飼 一彦*・渡辺 光由**・山田 祥治**

* 早稲田大学 理工学部

〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

** ブラザー工業 (株) NID 開発部

〒467-0841 名古屋市瑞穂区苗代町 2-1

Accommodative Responses when Viewing Binocular Retinal Projection Display with Variable Image Distance

Masahito TORII*, Kazuhiko UKAI*, Mitsuyoshi WATANABE** and Shoji YAMADA**

* School of Science and Engineering, Waseda University

** NID Research & Development Dept., Brother Industries, Ltd.

1. はじめに

ステレオディスプレイは両眼視差をつけ、輻輳または網膜像差を生じさせることによって見る人に立体感を与えている。このため輻輳に対する刺激はディスプレイ面上にはない。一方、実際の映像はディスプレイ面上にあるため、調節に対する刺激もディスプレイ面にある。このような輻輳と調節に対する刺激の違いがステレオ映像視聴時の疲労の原因と考えられている。

Watanabe ら¹⁾は、レーザで網膜を走査して映像を投影するディスプレイ (Retinal Scanning Display) を開発した。このディスプレイは、レーザの波面の曲率変化により調節刺激を変えることができるのが特徴である。今回はこのディスプレイを用いて、通常のステレオディスプレイとは異なって輻輳刺激と調節刺激が一致している刺激と、通常のステレオディスプレイと同様に輻輳刺激と調節刺激が矛盾している刺激に対する近見反応を測定、比較し、ステレオ映像を見ているときの調節反応が、視標の属性

である調節刺激量に依存するかどうかを調べた。この機構が想定通りに働くとすれば、調節刺激と輻輳刺激が矛盾しない視標提示が可能となり、疲労軽減に役立つと期待される。なお、今回は継時的に奥行が変化し、それにつれて輻輳・調節刺激も変化させた。この状態では網膜上に視差を与えることはできず、輻輳刺激のみが存在する。ただし、この装置はすべてのピクセルに対応することは不可能であるが、大局的には1枚の画像中に異なった視差が存在した場合に、場所ごとに異なった調節刺激を生じさせることができる。

2. 方 法

2.1 実験装置

Retinal Scanning Display (RSD, ブラザー工業) を各眼に一台ずつ使用し、レーザをハーフミラーで反射させて刺激を提示した。ハーフミラーの位置は被験者の眼球間距離にあわせてそれぞれ調整した。

近見反応の測定は、ビデオ・レフラクトメーター (PR-1000, TOPCPN) を用いて両眼を撮影し、その映像を画像解析した。また、ビデオイ

ベントマーカによって刺激の変化を映像に追加し、解析と同時に刺激の状態も追跡した。

2.2 被験者

22~32歳の健康な成人11名から得られたデータを解析した。近視のある被験者はソフトコンタクトレンズを装着した

2.3 手続き

刺激映像には白色のMaltese Crossを使用し、サイズは 5.7×5.7 deg、網膜照度は400 tdであった。背景・枠は暗色であったため刺激映像は空中に浮いているように見えた。

輻輳刺激と調節刺激をそれぞれ変化させて被験者に提示した。想定スクリーン位置は50 cm [2MA]であり、2MAでは両眼視差なしで調節刺激も2Dとなる。輻輳刺激は2MAと3MAをそれぞれ5秒おきに变化させた。輻輳刺激に合わせて調節刺激を変化させた刺激を「一致した刺激」とし、輻輳刺激にかかわらず調節刺激を2Dに固定した刺激を「矛盾した刺激」とした。2つの刺激の様子を図2に示す。横軸は時間で縦軸はメートルの逆数(1/m)である。視標が

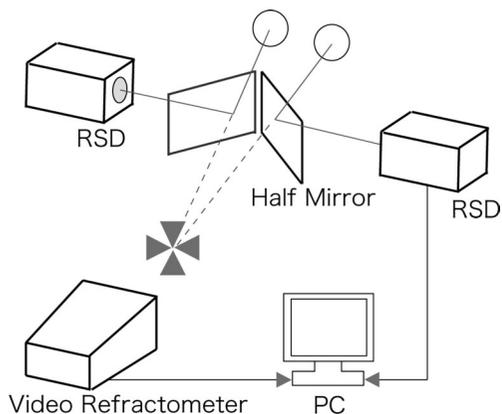


図1 実験装置。

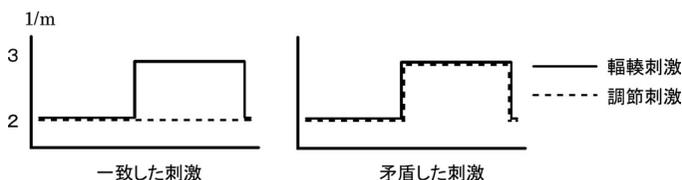


図2 刺激の様子。

想定スクリーン面にあるときには両刺激は同じ条件であるが、想定スクリーン面からはずれたときに2つの刺激に違いが生じる。この2つの刺激に対する近見反応を測定し、それぞれの反応にどのような違いが生じるのかを観察した。今回は視標までの見かけの距離によらず視標のサイズは一定とした。

2.4 画像解析

撮影した映像の解析は基本的には Ukai and Kato²⁾の方法に従った。今回は、画像解析ソフトウェアとして LabVIEW Vision (National Instruments) を使用し、瞳孔検出のプログラムに改良を加えてリアルタイムでの計測を可能にした。解析の流れを図3に示す。ソフトウェアの Find Circular Edge ツールにより瞳孔を検出し、その面積と中心位置を求める。その面積から瞳孔の大きさを測定し、瞳孔間距離から輻輳角を計算した [図3a]。

次に、瞳孔内(帯の部分)の明るさを求め最小二乗法でその傾きを計算し、調節を測定した [図3b]。なお、角膜反射の輝点は傾きの測定に誤差を与えるため、計算からは除外した。

3. 結果

3.1 波形・反応量

得られた反応の波形の一部を図4に示す。両刺激に対する調節の反応の波形に明確な違いは見当たらなかった。輻輳についても同様に大きな違いはなかった。反応量は刺激が3MAであるときの調節から2MAのときの調節を引いたものを計算した。各調節の値は刺激のステップ移動後2.5秒から5秒までの値を平均したもので、前半2.5秒は過渡的な反応があらわれたため解析には使用しなかった。

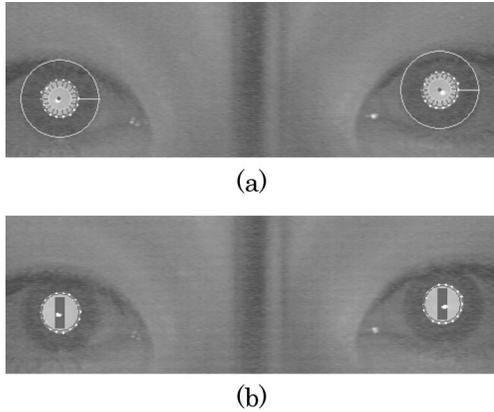


図3 画像解析。(a) 円形輪郭線検出により瞳孔の位置と径を検出。(b) 瞳孔内部の眼底反射像の輝度勾配を求め、それにより調節を解析。

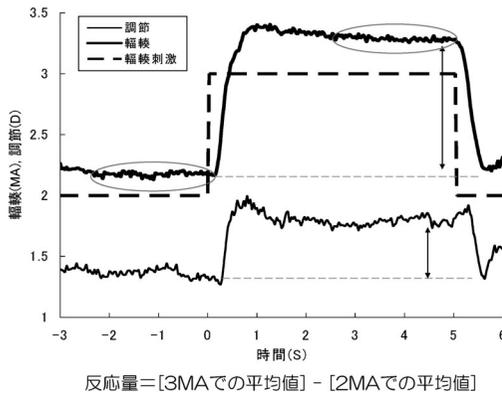


図4 ステップ応答。

3.2 反応量の分布・平均

一致した刺激の時の反応量を横軸に、矛盾した刺激の時の反応量を縦軸にとって、被験者ごとにプロットしたものを図5に示す。両刺激時の反応量の平均値を図6に示す。図5の実線は傾き1であり、この線の上にあるプロットは両刺激に対する反応量が等しいことを示す。線より右側にあるプロットは一致した刺激時の反応量のほうが大きかったことを示す。

輻輳の反応量はほとんどの被験者で両刺激への値が同じになり、平均値は一致した刺激で0.99 MA、矛盾した刺激で0.98 MAであった。

調節の反応量は一致した刺激時のほうが矛盾した刺激時より大きい被験者が11名中9名と

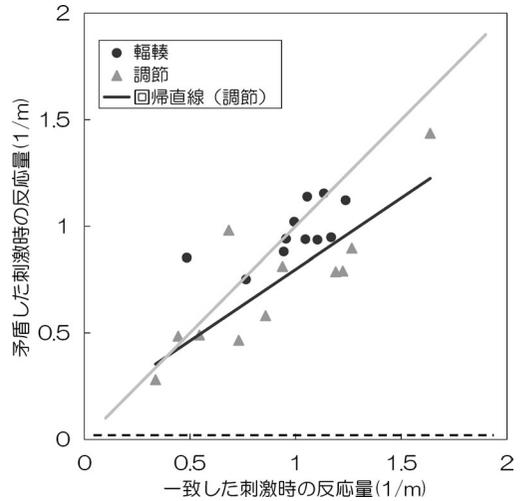


図5 反応量の分布。

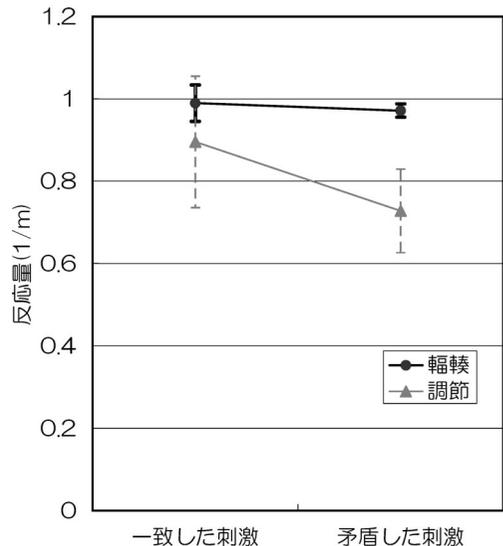


図6 反応量の平均値。

なり、平均値は一致した刺激で0.89 D、矛盾した刺激で0.73 Dとなった。この差は統計的に有意であった(対応のあるデータの差の検定、 t -test, $p < 0.05$)。

4. 考察

調節、輻輳の両刺激が一致した時の反応量のほうが矛盾した刺激時の反応量より大きかった。この結果から調節可変装置の効果はあったといえる。

ここで、両刺激に対する調節の反応について考えたい。輻輳刺激が2MAから3MAに変化したとき、刺激に反応して輻輳は約3MAになり、輻輳性調節によって調節も約3Dになる。一致した刺激の場合、調節刺激も3Dの位置にあるため像はほとんどぼけず、調節はその位置からあまり変わらない。しかし、矛盾した刺激の場合、調節刺激は2Dの位置にあるので像はぼけてしまい、ピントを2Dの位置に直そうとする。このピント合わせの影響で反応量が小さくなったと考えられる。

もし、調節の反応がピント合わせの機能に完全に支配されていたとすると、図5のプロットはすべて破線の上に分布するはずである。矛盾した刺激の調節刺激はずっと2Dのままなので、それに対する反応量は0になるからである。逆に、調節の反応にピント合わせが影響せず輻輳性調節のみであったとすると、プロットは灰色の線の上に分布するはずである。輻輳性調節には調節刺激は影響しないので、両刺激に対する反応量が等しくなるからである。今回の実験の結果では、プロットは灰色の線付近に分布し回帰直線もそちらのほうに近かった。これより、調節の反応には輻輳性調節のほうが大きな影響を与えていたと考えられる。なお、図5のプロットのばらつきは個人差によるものである。

今回使用した光束の形状はガウスビームであり、ピークの $1/e^2$ の強度となる場所での径が3mmであった。したがって、このビームの径は実効的には2mm以下であり、この状況下では1D程度の刺激の変化では像のぼけは少ない。

ビーム径が細いので焦点深度が深くなっているからである。それによって調節制御系がオープンループに近くなり、反応への影響が小さくなっていると考えられる。ビーム径が実際に3mmあればこの調節反応の差はさらに広がったものと考えられる。

以上のことより、網膜走査ディスプレイのビーム径を今回よりも大きくできれば調節刺激可変な装置がさらに有効になるとと思われる。また、これによって輻輳刺激と調節刺激が一致した自然な映像の提示が可能になると考えられる。逆に、ビーム径をさらに細くして調節を完全にオープンループにできれば、今まで困難であった輻輳性調節の測定も可能になると考えられる。映像提示をそのようなオープンループ状態で行えば、調節・輻輳刺激の矛盾は意味を持たなくなるが、ぼけに関して不自然な特性を持つことになる。

文 献

- 1) M. Watanabe, H. Takayama, N. Asai, R. Matsuda and S. Yamada: Hyper-realistic scanning display with wavefront curvature modulaor. *Proceedings of The 9th International Display Workshops*, 1253-1256, 2002.
- 2) K. Ukai and Y. Kato: The use of video refraction to measure the dynamic properties of the near triad in observers of a 3-D display. *Ophthalmic and Physiological Optics*, **22**, 385-388, 2002.