

三次元ディスプレイ上での立体像注視時の調節特性

岩崎 常人, 田原 昭彦

産業医科大学眼科学教室

要 約

目 的：立体映像の鑑賞が視機能に及ぼす影響を調べるために、三次元ディスプレイでの立体像注視時の調節応答量を測定した。

方 法：調節の測定には赤外線オプトメータを用い、遠方視標を 1 m の距離に、近方視標を 50 cm の距離に設定し、10 秒間隔で交互に 6 回ずつ呈示して右眼の調節ステップ応答を測定した。遠方視標は黒色のスターバーストを実視標として、近方視標はパララックス・バリア方式三次元ディスプレイに中央部が視角 1° の円形の黒抜きとなっている視角 2° の白色の円図形を呈示した。円図形の両眼視差条件は、交差性に +1.5° と同側性に -1.5° および視差を 0° の 3 通りとした。近方視標の呈示条件は、① 近方視標を -1.5° の視差のみの場合、② 視差 0° のみの場合、③ 視差 +1.5° のみの場合、および④ 6 回の呈示のうち視差 +1.5° と -1.5° を交互に 3 回ずつの 4 通りであった。調節波形の解析は、遠方視標を注視している時の調節応答位置に対して、近方視標を注視している時の調節応答位置の差である調節応答量を

計算した。

結 果：呈示条件 ①～③ の場合での調節応答量の平均値±標準偏差は、視差 -1.5° では 0.59 ± 0.16 D、視差 0° では 0.72 ± 0.11 D、視差 +1.5° では 1.03 ± 0.21 D となり、視差 0° に比べ視差 +1.5° では有意に大きく ($p=0.0300$)、視差 -1.5° では小さくなる傾向にあったが有意ではなかった ($p=0.0707$)。呈示条件 ④ の場合での調節応答量の平均値±標準偏差は、視差 -1.5° では 0.62 ± 0.12 D、視差 +1.5° では 1.03 ± 0.26 D で両群間に有意差があった ($p=0.0122$)。

結 論：三次元ディスプレイ注視時の調節応答は、視差を交差性にとり前方像として知覚させた場合には過剰となり、調節応答に不整合を及ぼす。(日眼会誌 108 : 5-11, 2004)

キーワード：調節ステップ応答、両眼視差、立体像、三次元ディスプレイ

The Accommodative Characteristics of Gazing at Stereoscopic Images on a 3-D Display

Tsuneto Iwasaki and Akihiko Tawara

Department of Ophthalmology, University of Occupational and Environmental Health, Japan

Abstract

Purpose : We measured the accommodative response in order to investigate the influence of a visual function when gazing at stereoscopic images presented on a three dimensional display.

Methods : Accommodative step responses were measured using an infrared optometer, setting the far target at the distance of 1 m and the near target at the distance of 50 cm. The step response of the right eye was examined 6 times at 10-second intervals. The far target was a starburst as a real image and the near target was a white circle on a random dot background on a parallax barrier system three-dimensional display as a stereoscopic image generated with a 90-min arc binocular crossed disparity (+1.5°) and a 90-min arc binocular uncrossed disparity (-1.5°), and a 0-min disparity (0°). The near target was presented in 4 ways : ① -1.5° disparity alone, ② 0-min disparity alone, ③ +1.5° disparity alone, and ④ +1.5° and -1.5° disparity alternately.

Results : In conditions ① to ③, the mean±standard deviation values of the accommodative re-

sponse were 0.59 ± 0.16 D, 0.72 ± 0.11 D, and 1.03 ± 0.21 D, respectively. The accommodative response was very large at the disparity of +1.5° compared with the disparity of 0° ($p=0.0300$). It was not significant although there was a tendency to become small at the disparity of -1.5° ($p=0.0707$). In condition ④, the mean±standard deviation values of the accommodative response were 0.62 ± 0.12 D in the condition of -1.5° and 1.03 ± 0.26 D in condition +1.5° with significant difference ($p=0.0122$).

Conclusions : The over accommodation response is induced when gazing at a stereoscopic image under the condition of binocular crossed disparity. This indicates that gazing at stereoscopic images has ill effects on the accommodative system.

Nippon Ganka Gakkai Zasshi (J Jpn Ophthalmol Soc 108 : 5-11, 2004)

Key words : Accommodative step responses, Binocular disparity, Stereoscopic image, Three-dimensional display

別刷請求先：807-8555 北九州市八幡西区医生ヶ丘 1-1 産業医科大学眼科学教室 岩崎 常人
(平成 14 年 10 月 22 日受付, 平成 15 年 4 月 17 日改訂受理)

Reprint requests to : Tsuneto Iwasaki, M.D. Department of Ophthalmology, University of Occupational and Environmental Health, Japan. 1-1 Iseigaoka Yahatanishi-ku Kitakyushu 807-8555, Japan

(Received October 22, 2002 and accepted in revised form April 17, 2003)

I 緒 言

立体ディスプレイで再生される立体映像は、虚像でありながら現実の空間に近い表示が可能である。そのため、産業の現場では立体設計の computer aided design (CAD) システムや、遠隔操作における円滑な作業遂行の手段として、また一般的な娯楽としてはテレビ用のゲーム機に使用されている。臨床医学の場においても、手術の訓練用ビデオなどに応用されている。

立体像を再生する方式には、大別すると二眼式表示(二眼式立体ディスプレイ)と三次元表示(再生像型立体ディスプレイ)と呼ばれる2通りがある。二眼式表示をさらに分類すると、アナグリフ方式や偏光フィルタ方式、液晶シャッターを利用した時分割方式など眼鏡を用いる方式と、レンチキュラ方式やパララックス・バリア方式などの眼鏡を用いない方式がある。これらの方式に共通した点は、いずれの場合も人為的に両眼視差を用いていることである。

人為的に両眼視差を誘起して立体像を知覚させた場合、視機能動態においては調節と輻湊との相互関係に変調を来す。両眼視差を交差性につけた場合、輻湊は知覚された立体像の位置にあり、呈示面の位置より前方である。逆に両眼視差を同側性につけた場合、輻湊は呈示面より遠方にあり、輻湊と調節にインバランスを生じると考えられている^{1)~3)}。そのため、二眼式表示による立体映像の鑑賞が視機能へ及ぼす影響や、眼精疲労については多くの研究がなされている。特に眼鏡を使用する方式では、液晶シャッター眼鏡を用いる時分割方式⁴⁾⁵⁾やヘッド・マウント・ディスプレイ(head mounted display, HMD)^{6)~9)}を使用した立体映像鑑賞による視機能への影響についての報告がある。一方、二眼式表示方式のうち眼鏡を使用しない、いわゆる裸眼で立体像を知覚する方式に関しては、レンチキュラ方式によって立体像を認識した場合の視機能への影響を調べた報告¹⁰⁾¹¹⁾がある。

そこで、本論文では調節と輻湊との相互関係の変調が立体ディスプレイ鑑賞時に生じていることを明らかにするために、調節を一定にしたままで輻湊角のみを変えることのできる三次元ディスプレイを用いて、ディスプレイ面上にある視標と視差を交差側につけた場合および視

差を同側につけた場合に知覚される立体像を固視した時の調節応答量を比較検討した。

II 方 法

1. 対 象

屈折異常以外の眼科的疾患がなく、赤外線オプトメータ (AR3-SV6, ニデック) によって検査された調節ステップ応答が良好な 20 歳の女子学生 4 例を対象とした。

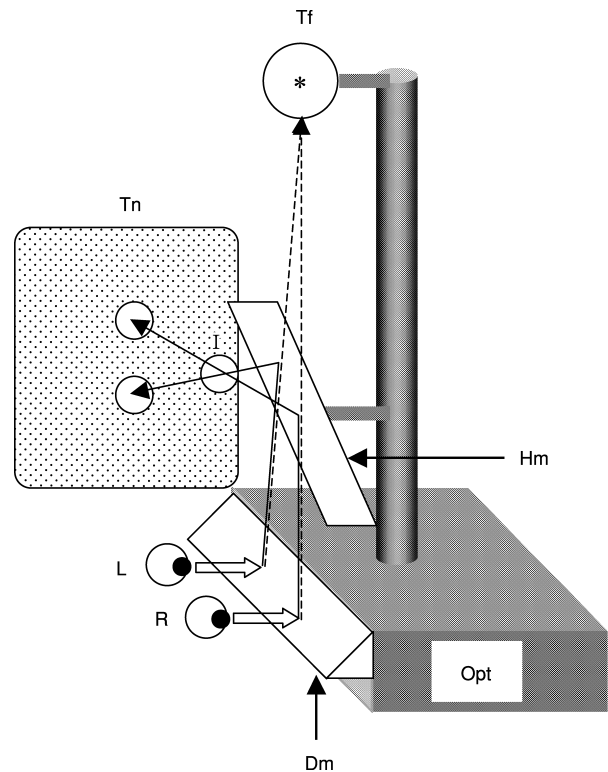


図 1 調節ステップ応答の測定系の模式図。

視差を交差性にとった場合を示す。

Tf: 遠方視標, 緑色の明発光体を背地とする黒色のスターバースト, 視距離 1 m

Tn: 近方視標, パララックスバリア方式三次元(3-D)ディスプレイ, 視距離 50 cm

Opt: 赤外線オプトメータ Dm: ダイクロイックミラー

Hm: ハーフミラー I: 知覚される立体像

——と-----: 両眼の視線, 右眼(測定眼)の視線は Tf, Tn のいずれの視標面に対しても常に直交し, Opt の光軸とも一致する。左眼の視線は非対称性輻湊運動を生じる。

表 1 オートレフラクトメータによる被験者の屈折状態

被験者	性別	年齢(Y)	球面度数(D)		乱視度数(D)	
			右眼	左眼	右眼	左眼
1	女性	20	-0.40	-0.28	-0.09	-0.04
2	女性	20	-0.43	-0.52	-0.15	-0.08
3	女性	20	+0.10	-0.64	-0.64	-0.23
4	女性	20	-0.50	-0.50	-0.62	-0.25
平均値±標準偏差			-0.31±0.27	-0.49±0.15	-0.38±0.30	-0.15±0.11

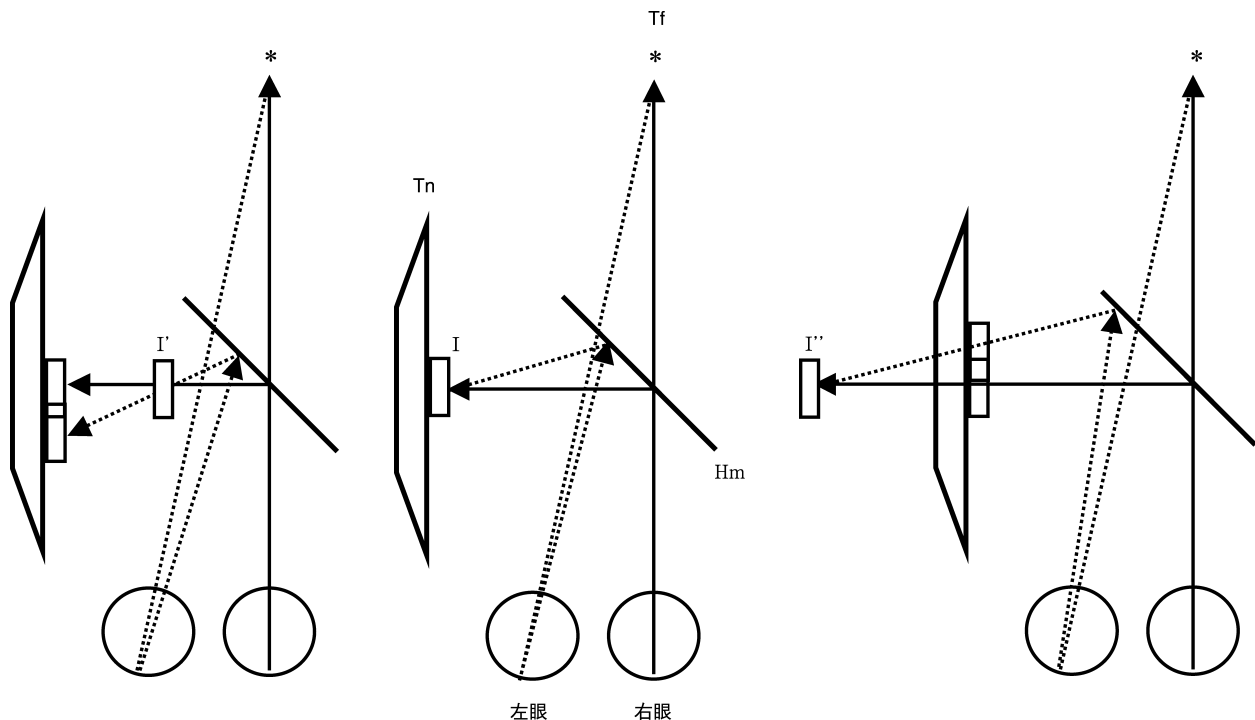


図 2 視標呈示に伴う視線移動。

左：視差を交差性に $+1.5^\circ$ とした場合，中央：視差を 0° とした場合，右：視差を同側性に -1.5° とした場合。
 Tf：遠方視標，緑色の明発光体を背地とする黒色のスターバースト
 Tn：近方視標，パララックスバリア方式 3-D ディスプレイ
 Hm：ハーフミラー，I：3-D ディスプレイ面上にある呈示像，I'：立体として知覚される前方像，I''：立体として知覚される後方像，——：測定眼である右眼の視線，-----：左眼の視線

事前検査におけるオートレフラクトメータ (AR-1100, ニデック) による他覚的屈折度は $+0.1 \sim -0.64$ D であり，乱視度数は $-0.08 \sim -0.64$ D であった (表 1)。自覚的視力検査ではいずれも裸眼視力値は 1.0 以上あり，放射状の乱視表でも濃淡は自覚されなかった。すべての被験者は，Titmus fly test で立体視がみられ，実験に使用した立体像をいずれの両眼視差条件でも複視を生じることなく明瞭に認識できた。

2. リアルタイムでの調節の測定法

調節の測定には赤外線オプトメータ (上記と同一) を用い，1 m の距離に遠方視標を 50 cm の距離に近方視標を設定し (調節刺激量 1 D)，ハーフミラーを介して 10 秒間毎に交互にトリガーをかけ，それぞれ 6 回ずつ呈示して右眼の調節ステップ応答を測定した (図 1)。測定は薄暮室で行い，遠近両視標のうちいずれか一方は消灯していたので，両視標が重複して視野内に存在することはなかった。赤外線オプトメータからのアナログ信号は，コンピュータ (PC-9801 BX 2, NEC) に送られ，A/D ボードによって 80 ms に 1 回の割合でデジタル信号に変換された。

遠方視標は，緑色の明発光体 (3 cd/m^2) の上に黒色のスターバーストをレトラセットで作図し用いた (視角 1.7°)。近方視標は，パララックス・バリア方式三次元

(3-D) ディスプレイ (THD-10 PN 3, SANYO) 上に中央部が視角 1° の円形の黒抜きとなっている視角 2° の白色の円図形 (3 cd/m^2) を呈示し，背地にはモノクロームのランダム・ドットを用いた。ランダム・ドットは，コンピュータ上で Adobe Photoshop Ver. 5.5 によってノイズフィルタ処理 (ノイズ量：500，分布法：均等分布) を施し作成し，その上に円図形を配置した。3-D ディスプレイは，画面サイズが 10.4 inch の thin film transistor (TFT) アクティブマトリックス方式による透過型 twisted nematic (TN) 液晶パネルで 921,600 の画素をもつ。被験者には，遠方視標呈示に際してはスターバーストの中心を，近方視標の場合には円図形の中央を固視し，いずれの視標の切り替えに対しても，即座に明視を行い，かつ明視状態の保持を指示した。

円図形の両眼視差 (以下，視差) 条件は 3 通りとした。3-D ディスプレイ面から近方に飛び出させる前方像の場合には交差性に $+1.5^\circ$ の視差をとり，遠方に奥行きをもたせる後方像の場合には同側性に -1.5° の視差とし，立体表示をしないディスプレイ面上に表示する場合には視差を 0° とした。瞳孔間距離を 6 cm とした時の知覚される立体像の理論的位置は，視差 -1.5° の場合が眼前 64 cm で，視差 $+1.5^\circ$ の場合が眼前 41 cm であった。立体視標を固視する時の視線方向は，右眼の場合では遠

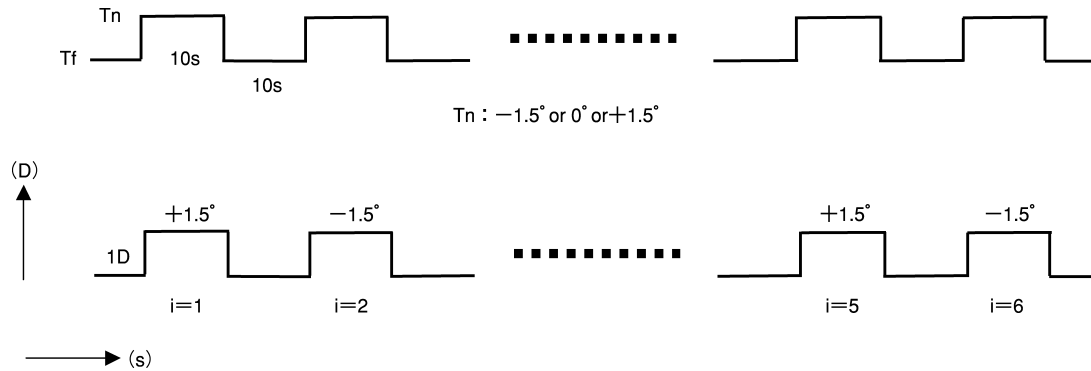


図 3 2種類のステップ刺激呈示条件.

上：遠方視標(Tf)と近方視標(Tn)を各6回、10秒間ずつ呈示、近方視標の視差条件は -1.5° と 0° 、 -1.5° の3条件がある。

下：近方視標の視差条件を $+1.5^\circ$ と -1.5° として交互に10秒間ずつ3回呈示する。i：データ数

方視標、近方視標のいずれを固視した時も視標面に対して常に直交し、赤外線オプトメータの光軸とも一致して視線移動はなかった。左眼の視線方向は、本測定の前に行った立体像の融像確認時の肉眼的観察では、立体表示をしない時(視差 0°)の視線に比較して、交差性に $+1.5^\circ$ の場合にはより内よせ側に、逆に、同側性に -1.5° の場合にはより外よせ側に移動することを確認した(図2)。

10秒間ずつ6回の近方視標の呈示条件は4通りとした。①近方視標を -1.5° の視差のみの場合、②視差 0° のみの場合、③視差 $+1.5^\circ$ のみの場合、および④6回の呈示のうち視差 $+1.5^\circ$ と -1.5° を交互に3回ずつの場合であった(図3)。一つの呈示条件での測定には2分を要し、各条件の測定の合間に5分間の休止を挟んだ。休止は赤外線オプトメータの顎台から頭部をはずし、その場で座位姿勢のまま自然視の状態を保った。4例の被験者に対して4呈示条件があるため、測定順番を各被験者で変え測定の順序効果を相殺した。

3. 解析法

記録された調節ステップ応答の解析は、図4に示すように遠方視標である実視標を注視している時の調節応答位置に対して、近方視標である立体視標を注視している時の調節応答位置の差である調節応答量(Δd , D)を計算した。両調節応答位置は、視標の切り替えから5秒が経過し、遠近視標の切り替えによるダイナミックな調節反応の影響がなく、かつ立体像の知覚が確実に成立したと考えられるそれぞれ後半5秒間の連続する屈折値の平均とした。呈示条件①~③では、各条件毎に6波形が得られるので、各波形毎に調節応答量を計測し6データの平均値を算出した。呈示条件④では、視差 $+1.5^\circ$ と視差 -1.5° それぞれ3波形ずつが得られるので、両視差条件毎に3データの平均値を算出した。呈示条件①~③と呈示条件④とでは、刺激法とデータ数に違いがあるので、結果は別にまとめた。統計処理は、呈示条件①~③では、視差条件を一要因とする一元配置分散

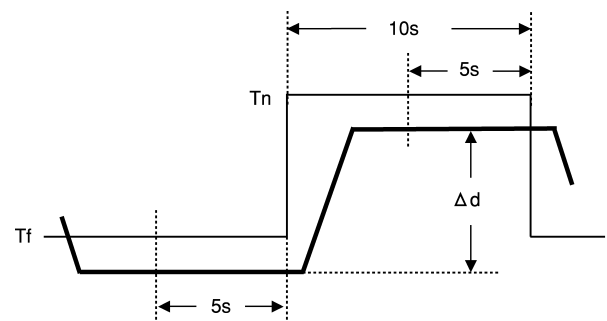


図 4 得られた調節ステップ応答波形の解析法の模式図.

遠方視標を注視している時の調節応答位置に対して、近方視標を注視している時の調節応答位置の差である調節応答量(Δd , D)を計算した。両調節応答位置はそれぞれ後半5秒間の連続する屈折値の平均とした。

—：近方視標(Tn)と遠方視標(Tf)の刺激位置
—：調節ステップ応答波形

分析を行った後、有意差のあった場合には Fisher の protected least significant difference (PLSD)法を用いた。呈示条件④では、両群間で対応のある t 検定を行った。いずれも危険率5%未満は有意な変化とし、10%未満は傾向ある変化とした。

III 結果

図5に呈示条件①~③での被験者1の結果を示す。各呈示条件とも6波形の平均波形として表している。3-Dディスプレイ面上に呈示した視差 0° の調節応答量と比較して、交差性に視差が $+1.5^\circ$ の場合には過剰な調節応答が観察され、逆に同側性に -1.5° の場合には過小な調節応答であった。全例での調節応答量の平均値±標準偏差を図6に示す。視差 -1.5° での調節応答量は 0.59 ± 0.16 D、視差 0° では 0.72 ± 0.11 D、視差 $+1.5^\circ$ では 1.03 ± 0.21 Dであった。交差性に視差をとり飛び出した前方像として知覚した場合には視差 0° の時と比

較して調節応答量は有意に大きくなり ($p=0.0300$), 逆に, 同側性に視差をとって後方像として知覚した場合には視差 0° の時と比較して調節応答量は小さくなる傾向

にあったが有意ではなかった ($p=0.0707$).

図 7 に呈示条件 ④ での被験者 1 の結果を示す. 図中の左半分の波形は視差 $+1.5^\circ$ の場合で, 右半分は視差 -1.5° の場合であり, 各々 3 波形ずつの平均波形を表す. 3-D ディスプレイ上で視差を $+1.5^\circ$ と -1.5° との交互に呈示した場合でも, $+1.5^\circ$ 時には過剰な調節応答が観察され, -1.5° 時には過小であった. 全例での調節応答量は, 視差 -1.5° では $0.62 \pm 0.12D$, 視差 $+1.5^\circ$ では $1.03 \pm 0.26D$ であった (図 8). 前方像を知覚した場合は後方像を知覚した時よりも調節応答量は有意に大きかった ($p=0.0122$).

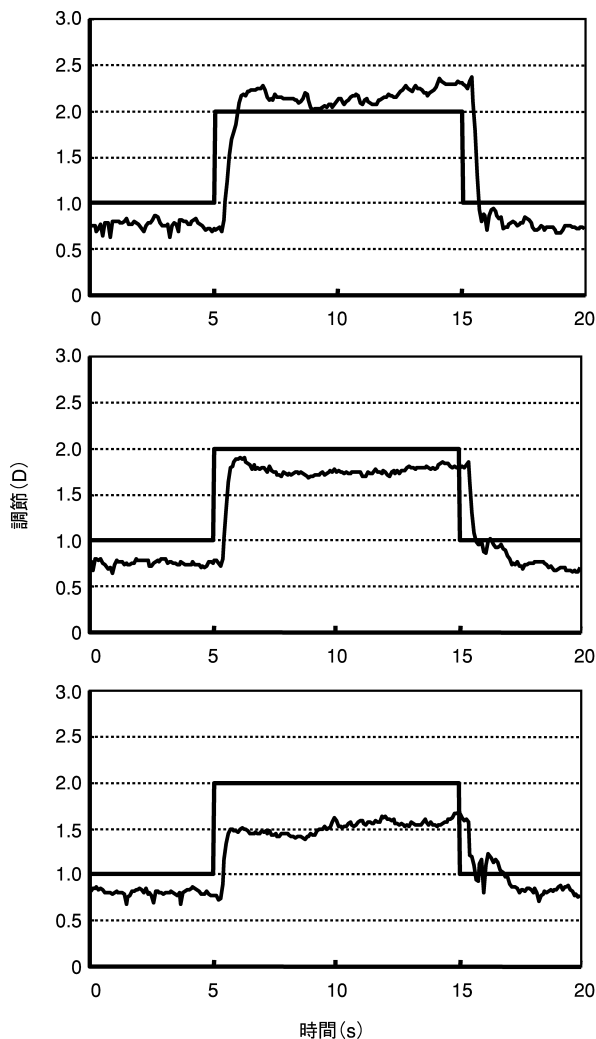


図 5 被験者 1 での調節ステップ応答波形. 近方視標の視差を交差性に $+1.5^\circ$ (上図) と視差 0° (中図) と同側に視差 -1.5° (下図). 各波形とも 6 回のステップ応答の平均波形を示す.

IV 考 按

立体像を注視した時の調節応答量は, 視差を 0° とした時に生じる調節応答量と比較して, 視差を交差性にと

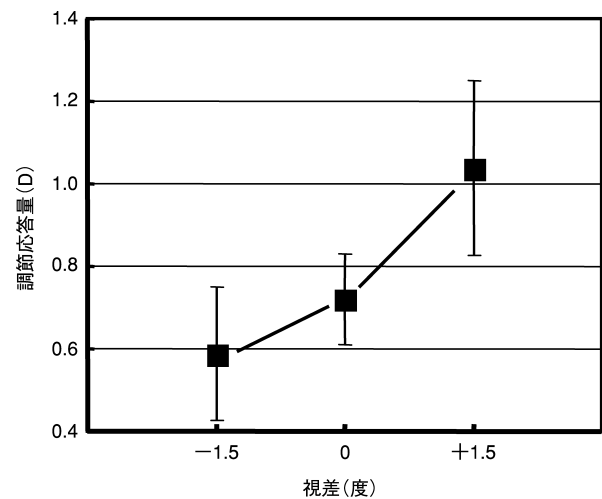


図 6 全例での調節応答量 ($\Delta d, D$) の平均値 \pm 標準偏差.

視差を交差性に $+1.5^\circ$ として知覚した場合には調節応答量は大きくなり, 逆に, 同側性に視差を -1.5° として知覚した場合には調節応答量は小さくなった ($p=0.0112$, 一元配置分散分析).

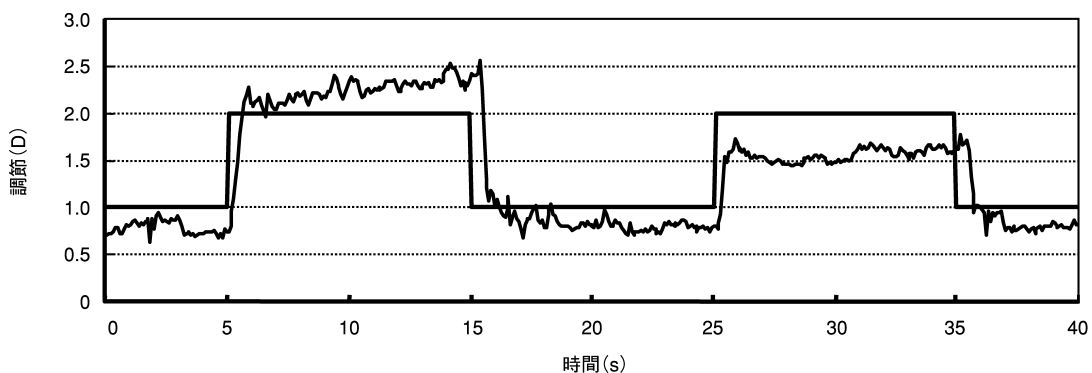


図 7 被験者 1 での調節応答ステップ波形. 近方視標の視差を交差性に $+1.5^\circ$ (図中の左) と同側に -1.5° (図中の右). 各波形とも 3 回のステップ応答の平均波形を示す.

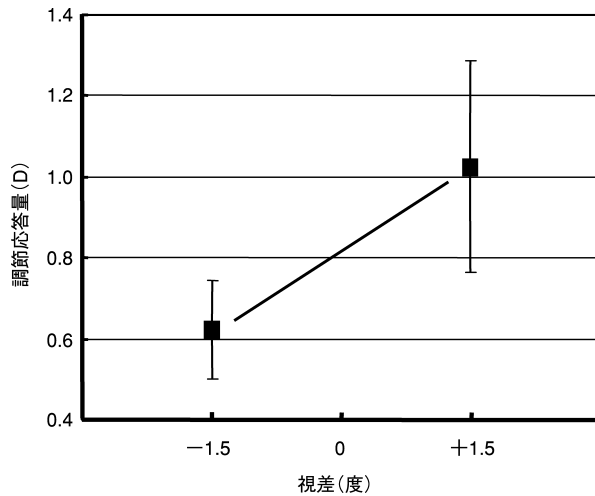


図 8 全例での視差+1.5°と-1.5°での調節応答量(Δd , D)の平均値±標準偏差。

前方像を知覚した場合は後方像を知覚した時よりも調節応答量は大きであった(p=0.0122, t検定)。

り前方像として知覚させた場合には過剰な調節応答が有意に生じ、視差を同側性にとり後方像として知覚させた場合には過小な調節応答が誘導される傾向にあった。両眼視差を用いて立体像を知覚した時の調節や輻湊の特性を実験的に調べた報告^{12)~16)}は、過去にいくつかある。

これらの報告でも、今回と同様に赤外線オプトメータを用い、調節ステップ応答を測定している。調節刺激は、遠方近方の両視標とも実視標にした場合と、両視標とも立体視標にした場合が設定され、2つの条件下での調節応答量を比較した。立体視標の位置は、瞳孔間距離と視差から計算された知覚される見かけ上の位置としている。つまり、実視標の設定距離に対応した位置に見かけ上の立体像が知覚されるように視差がつけられ、調節の距離刺激量を両条件で一致させていた。例えば、奥山ら¹³⁾の方法は、我々と同じ3-Dディスプレイを用い、調節刺激量も同じである。この場合、3-Dディスプレイは眼前1mの距離に設置され、この位置で視差を0°とした像を呈示し、これを遠方視標とした。近方視標は、その画面上で交差性に視差をつけて像を呈示し、眼前50cmに飛び出すように設定している。その他の報告も呈示装置や呈示距離の違いがあるものの、これと同様の方式で測定が行われている。

その結果、すべての報告で調節応答量は、対照とした実視標でとらえた時から、立体視標の場合が減少していた。この結果から、山内ら¹²⁾は立体映像鑑賞時の眼精疲労の原因は、知覚された立体像の位置にあると考えられる輻湊の量より、立体像の知覚によって生じる調節量が少ないために、調節が逆に輻湊を減弱させる方向に作用する結果であるとしている。Takedaら¹⁶⁾はさらに調節と同時に輻湊も記録し、輻湊が知覚される立体像の位置にあることを正確に測定した。この時、この輻湊量に対

して少ない調節応答量が、知覚された立体像にぼけを生じさせると推測し、これが飛び出した立体映像鑑賞時の視覚へのストレスとなると考察した。いずれも対照とした実視標での調節応答量と比較して、立体像での場合に調節応答量の少ないことが問題であると報告している。

しかし、この視標呈示に基づく比較方法では、実視標条件での調節刺激に、網膜像のずれと視標までの距離の二要素が加味されているのに対して、立体視標条件では距離の情報は一定となり、網膜像のずれの一要素が与えられる。これは融像性輻湊に基づく輻湊性調節をとらえたのみとなり、調節を直接誘起する重要な距離の要素が欠落している。実視標と立体視標での調節応答量を個別に測定し、それらを比較したために、立体視標の場合に調節応答量が減少する結果となったと考えられる。立体像鑑賞時に最も問題となるのは、呈示面上にある像を明視するための調節(距離の要素)と、呈示面上でずれを伴った像を単一視するための融像性輻湊に起因する調節(網膜像のずれの要素)が、如何に現実の調節量に影響しているかという点である。

今回の我々の調節刺激は、視標移動が1mの遠方視標から50cmの近方視標であったため、一つは距離であり、さらに近方視標には視差が存在したため、網膜像のずれの要素も加わり、2つの要素が適切に含まれていた。つまり、過去の報告での実視標に対する調節応答量に、立体視標による調節応答量を加えた量を測定した。その結果、融像性輻湊に基づく輻湊性調節によって、呈示画面上での調節量に対して調節応答が、同側性では過小傾向で有意ではなかったが、交差性では過剰になされることを明確にできた。実際の立体ディスプレイ鑑賞時に生じる輻湊性調節の影響を適切にシミュレートする方法である。

50cmのディスプレイ面への視差0°での調節応答量は0.72Dであり、この値を規準とすると、交差性の場合には+0.31Dであり、同側性の場合には-0.13Dが誘導されたこととなる(図6)。調節・輻湊のカップリングモデル¹⁷⁾¹⁸⁾に従えば、両機能の相互作用は、急速な運動系においてのみ成立し、遅い運動系では調節順応や輻湊順応が生じ、それらの相互作用は消失するとある。距離が不変である通常の実物体を固視する時、調節と輻湊は、視線移動直後は急速な運動系に属し両者の相互作用を来すが、やがて遅い運動系に移行して順応状態になり安定化する。今回測定した調節応答量は、遠近のステップ応答のそれぞれ後半の5秒間を解析した結果である。視標の切り替えから5秒後は、クロスカップリングモデルからは、すでに遅い運動系に属していると考えられ、調節と輻湊の相互作用は消失していると推測される。しかし、交差性の場合に+0.31D調節が誘導されたことは、輻湊からの刺激が残存しており、両機能は順応せず不安定な状態を保ったと考えられる。立体映像鑑賞時

に眼精疲労が生じやすい原因の一つは、この不安定な状態が持続するためである。

文 献

- 1) **Iwasaki T, Akiya S, Inoue T, Noro K** : Surmised state of accommodation to stereoscopic three-dimensional images with binocular disparity. *Ergonomics* 39 : 1268—1272, 1996.
- 2) 不二門 尚 : 三次元画像と眼—眼精疲労—。眼科 40 : 179—185, 1998.
- 3) 梶田雅義 : 3D 映像と屈折調節。神眼 16 : 152—156, 1999.
- 4) **Cho A, Iwasaki T, Noro K** : A study on visual characteristics of binocular 3-D images. *Ergonomics* 39 : 1285—1293, 1996.
- 5) 大平明彦, 落合真紀子 : 両眼液晶シャッターとハイビジョンテレビを組み合わせた立体画像が視機能に与える影響について。視覚の科学 17 : 131—134, 1997.
- 6) **Mon-Williams M, Wann JP, Rushton S** : Binocular vision in a virtual world : Visual deficits following the wearing of a head-mounted display. *Ophthalmic Physiol Opt* 13 : 387—391, 1993.
- 7) **Wann JP, Rushton S, Mon-William M** : Natural problems for stereoscopic depth perception in virtual environments. *Vision Res* 35 : 2731—2736, 1995.
- 8) 井上哲理, 河合隆史, 柴田隆史, 野呂影勇, 岩崎常人 : HMD における立体画像の再生位置と視覚負担。3D 映像 12 : 13—18, 1998.
- 9) **Morse SE, Jiang B** : Oculomotor function after virtual reality use differentiates symptomatic from asymptomatic individuals. *Optom Vis Sci* 76 : 637—642, 1999.
- 10) **Fujikado T, Hosohata J, Ohmi G, Tano Y** : A clinical evaluation of stereopsis required to see 3-D images. *Ergonomics* 39 : 1315—1320, 1996.
- 11) 玉木光子, 奥山文雄, 所 敬, 他 : 40 インチ眼鏡なし立体ディスプレイが視機能に与える影響。視覚の科学 19 : 146—150, 1999.
- 12) 山内 久, 井上哲理, 大頭 仁 : 二眼式立体表示システム観察時の視覚機能。視覚の科学 14 : 99—102, 1993.
- 13) 奥山文雄, 八名和夫, 池田貴司, 小山田健二 : 立体映像による眼のピント調節と輻湊。3D 映像 10 : 54—59, 1996.
- 14) **Miyao M, Ishihara S, Saito S, Kondo T, Sakakibara H, Toyoshima H** : Visual accommodation and subject performance during a stereographic object task using liquid crystal shutters. *Ergonomics* 39 : 1294—1309, 1996.
- 15) 橋本佳三, 武田常広, 比留間伸行, 伊藤由美子, 梶田雅義 : 実視標と立体視標に対する調節反応量。視覚の科学 18 : 49—54, 1997.
- 16) **Takeda T, Hashimoto K, Hiruma N, Fukui Y** : Characteristics of accommodation toward apparent depth. *Vision Res* 39 : 2087—2097, 1999.
- 17) **Hung GK, Semmlow JL** : Static behavior of accommodation and vergence : Computer simulation of an interactive dual-feedback system. *IEEE Trans Biomed Eng* 27 : 439—447, 1980.
- 18) **Schor C** : A dynamic model of cross-coupling between accommodation and convergence : Simulations of step and frequency responses. *Optom Vis Sci* 69 : 258—269, 1992.