立体画像システム観察時の融像性輻湊限界の分布

Distribution of Fusional Vergence Limit in Viewing Stereoscopic Image Systems

正会員 江本正喜[†], 正会員 矢野澄男[†], 正会員 長田昌次郎[†]
Masaki Emoto[†], Sumio Yano[†] and Shojiro Nagata[†]

Abstract Stereoscopic image systems based on binocular parallax can present a stereo pair of images with significant binocular parallax. However, if such parallax often approaches or exceeds the viewer's fusional ability, eye strain or visual fatigue may result. In this regard, it is necessary to assess many human subjects in order to design stereoscopic image systems. We measured fusional vergence limits (or diplopia threshold) of many people without any additional correction of ophthalmic function from the ordinary because of the idea that the variation of the ophthalmic function of many people is one of the factors in the distribution of fusional vergence limits. As a result, the distribution function of fusional vergence limits was clarified. This result will contribute the design of stereoscopic image systems and contents. We also found that the experience of watching stereoscopic contents affects the fusional convergence limits, and that the viewer's eye position (heterophoria) shifts the range of fusional vergence.

キーワード：立体視，立体テレビ，両眼融合，融像性輻湊限界，疲労，眼精疲労

1. ま え が き

将来の放送サービスの1つの可能性として、立体テレビが検討されている。この実現方法はさまざまであるが、現在では技術的実現の容易さから、人間の両眼に入る2つの像が、左右眼の間隔分のずれのために少しだけ異なっていること(両眼視差)を利用して、観察者に立体感を知覚させる立体画像(以降、立体画像と記す)が多く利用されている。この両眼視差を利用した立体画像システムでは、表現できる両眼視差の範囲が広い。立体画像の効果を、観察者に有効に印象づける演出を意図するあまり、安易に画面から飛び出す画像を過度に用いることがある。立体画像観察時の視覚疲労が問題となっているが、観察者が快適に観視できる範囲を超えるような、過度の両眼視差をもつ立体画像が、視覚負担や疲労感をもたらすことが考えられる。人間の視覚系の両眼融合特性と親和性の高い、視覚負担や疲労の少ない立体画像システムの検討を行うためには、観察者が許容できる両眼視差範囲を把握する必要がある。

そこで、単一像として両眼融合観視が可能な両眼視差範囲を多人数について測定し、統計的分布について検討した。心理学の分野では、古くから眼球運動のない状態で単

一視できる両眼網膜像差(Retinal Disparity)の範囲が測定されており、もっともよく知られているものに、パナムの融合域がある。一方、今回の立体テレビを想定した測定では、融像性眼球運動(Fusional Vergence)を含めて、単一視可能な両眼視差(Binocular Parallax)の範囲を融像性輻湊限界(Fusional Vergence Limit or Diplopia Threshold)と定義して、その分布を検討した。画質評価などでは、被験者を正常な視機能を持つ者に限定する必要があるが、今回の目的のためには、視機能による被験者の制限を設けない。つまり、被験者固有の視力、立体視力等の視機能の多様性も融像性輻湊限界の分布の要因として捉え、観察者の日常状態からの矯正は、特に行わないこととした。ただし、被験者の視機能の特性を把握する必要があるため、融像性輻湊限界の測定と同時に、関連するいくつかの視機能の測定も行った。

一方眼科臨床では、従来から融像性輻湊限界の測定は、両眼視機能検査の1項目である融像幅の検査として行われてきた。この検査と今回の目的である測定には、2点の主要な相違点がある。

まず最初は、被験者である。眼科臨床の検査は、視機能に何らかの異常が疑われる患者に対して行われるため、その分布には、偏りが生ずる。これに対して、今回の測定は、視機能の異常の有無に関わらず、広範囲に行う必要がある。

2点目は、測定法である。眼科臨床での検査では、大型弱視鏡などを用いて、被験者の視野全体の両眼視差を連続

1999年7月16日，映像情報メディア学会 ヒューマンインフォメーション研究会で発表

2000年11月7日受付，2001年3月5日最終受付，2001年3月16日採録

[†] NHK放送技術研究所

(〒157-8510 世田谷区砧1-10-11, TEL 03-5494-2276)

[†] NHK Science and Technical Research Laboratories

(1-10-11, Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo 157-8510, Japan)

的に変化させる。これに対して、今回の測定では、両眼融合限界の人口分布の測定システム¹⁾を用いて、立体テレビの一般的な観察条件と同様な条件で測定を行うため、また、融像特性におけるヒステリシスの効果を避けるため、画枠の内側に提示された画像の両眼視差のみを不連続に変化させた。視野²⁾や視覚刺激の大きさ³⁾、両眼視差変化の連続、不連続⁴⁾⁵⁾などの測定条件は、融像特性に大きく影響することが知られている。これまでも、今回の測定と同様に、画枠の内側に提示された立体画像を用いて、融像性輻湊限界が測定された例がある⁶⁾。この測定結果は、融像性輻湊限界の平均値は無限遠を起点として換算することにより、大型弱視鏡やプリズムを用いて測定された値とほぼ同じ程度となっている。また、被験者毎の相関は、大型弱視鏡を用いて測定された値と相関係数 $r=0.727$ 、 $p=0.0009$ 、プリズム負荷とでは $r=0.643$ 、 $p=0.0053$ となり、よく相関することが報告されている。よって、融像性輻湊限界の測定に立体画像を用いることは、問題ないと考えられる。ただし、この例や眼科臨床での検査においては、両眼視差を連続的に変化させているため、ヒステリシス特性を含んでいるが、今回の測定では、両眼視差を不連続に変化させたため、従来のヒステリシス特性を含む測定結果とは異なる結果が予想される。

2. 測定装置

測定装置の構成を図1に示す。提示画像の作成と被験者の回答の取得を兼ねた、グラフィックワークステーションを信号源として用いた。両眼の画像を、被験者の両眼にそれぞれ分離して刺激画像提示するため、レンチキュラーレンズを張った、20インチ液晶モニタを縦置きで用いた。これにより、液晶モニタ上の左右に隣り合う2つの画素は、左右眼に分離して提示される。測定装置の仕様を表1に示す。この仕様により、被験者は、立体画像観察用の眼鏡をかける必要がなく、通常のテレビの観視状態と同様な明視条件で測定を行うことが可能である。また測定時には、被験者の頭部を良好な視域に固定するため、頭部を軽く固定できる背もたれ付きの椅子を用いた。

3. 測定手続き、方法、および測定例

3.1 被験者に対しての事前説明

まず最初に、被験者に対して測定についての詳しい説明を行った。測定中の立体画像観視においては、実物を見ている時の実体視とは異なる視機能状態にあること、被験者の体調の変調の訴えによって、即座に測定が中止されること、測定結果の公表は、個人特定が不可能な統計データとしてのみ行われることなどを説明した。被験者が測定に同意した場合のみ、被験者用紙に氏名、年齢、日常状態での視力矯正の有無、立体画像の観察経験の有無を記入してもらい、予備視機能検査の後、融像性輻湊限界の測定を開始した。

図1 両眼融合限界測定装置
Fusional vergence limit measurement system.

表1 測定装置の仕様
Specification of measurement apparatus.

視距離	0.6 m
左右像の分離	レンチキュラーレンズ
表示装置の画素数	1024(水平) * 1280(垂直) 片眼あたり 512(水平) * 1280(垂直)
視角	30 度(水平)
最小視差	3.58 分
最大輝度	130 cd/m ²
クロストーク比	0.017

3.2 予備視機能検査

多数の被験者に対して測定を行う場合、被験者の視機能の多様性を考慮する必要がある。具体的には、片眼の視野の全体的または部分的な抑制、複視、視力の不足、左右視力の不均衡、立体視の障害、老視のための焦点調節の時間延長、眼位異常、左右視機能の不均衡等が考えられるので、融像性輻湊限界の測定に先立って、以下に示す項目の視機能検査を行った。被験者の立体視機能が完全でない場合に、ある程度の原因予測が可能であり、その対応も考慮しながら測定を進めることができ、最終的には測定時間の短縮につながる。また、視機能に問題がない被験者に対しても、その被験者の基本的な特性を把握するために有用である。

(1) 瞳孔間距離

瞳孔間距離測定器(HOYA RC-810)を用い、注視距離0.6 mの時の瞳孔間距離を測定した。最小測定単位は0.5 cmである。

(2) 立体視力と立体視

立体視スクリーニングチャートを用いて、観察距離0.4 mで被験者の識別できる最小立体視力を測定した。これには、主に Randot Stereotests(Stereo Optical)チャートを用い、一部 Titmus Circle Test(Stereo Optical)を用いた。また、同チャートに含まれる Fly Test を用いて、立

体視検査を行った⁷⁾.

(3) 日常状態での視力

上記測定装置に、約0.28, 0.20, 0.10, 0.08, 0.06の視力に相当する大きさの5通りのランドルト環を表示して、被験者が表示される測定図形を解像できる程度の視力を持つかどうかを測定した。左右視力、両眼視力の両方を測定した。

(4) 静的立体視力

上記測定装置に、約7.2, 8.9, 10.7, 12.5(度)の立体視力に相当する両眼視差の4通りのランドルト環を表示して、被験者の静的立体視力を測定した。

(5) 動的立体視力

上記測定装置に、約7.2, 8.9, 10.7, 12.5(度)の立体視力に相当する両眼視差の4通りのランドルト環を、奥行きが約0.8 Hzで正弦波状に変化するように表示して、被験者の動的立体視力を測定した。

(6) 眼位ずれ

上記測定装置に、左眼には垂直線、右眼には小円を提示し、被験者は、画枠内側の融像を断った状態で観視した。被験者は、両者が重なって見える位置に小円の位置を調整した。眼位ずれがなければ、画面上で垂直線と小円は重なるが、眼位ずれがある場合には、画面上で垂直線と小円の位置がずれる。この位置のずれ量によって、眼位ずれを測定した。

(7) 不等像視

上記測定装置に、左眼には下方に開いたコの字、右眼には上方に開いたコの字を互いに向き合うように提示し、被験者は融像を断った状態で観視した。被験者は、コの字の2本の垂直線の両方が合致するように、下側のコの字の横位置と幅を調整した。もし、被験者に不等像視がある場合、画面上のコの字の大きさが、それをうち消す分だけ変化させられる。この調整変化量によって知覚されている、左右像の大きさの差である不等像視を測定した。

(8) 色バランス

左右眼の色バランスを調整法による等色で測定した。

3.3 融像性輻湊限界測定時の提示画像

図2に融像性輻湊限界測定時の提示画像を示す。放射状の円画像は立体視が成立すれば円錐、立体視は成立しないが単一視ができれば円板、いずれもできなければ2重像などとして知覚される。円の直径は、観察距離0.6 mのとき視角約3.0度となる。立体視研究では単眼の手がかりのないランダムドットステレオグラムが多用されるが、今回は立体テレビを想定しているので、単眼でも形状知覚が可能な画像を採用し、円錐形の周辺に両眼視差0の格子模様を配置した。ただし、予備実験においては、ランダムドットステレオグラムについても検討したので後述する。

提示画像の両眼視差は、円画像が周辺と同じ面上に知覚される状態から、ある視差量を持つ画像にステップ状に変化する。これは、立体テレビを観察している際に、場面転

図2 融像性輻湊限界測定時の提示画像
Stimuli and response icons.

換などで急激、不連続な両眼視差の変化が生じる場合に相当し、最も厳しい条件での測定である。観察者の眼球運動が追従可能なゆっくりとした連続的な両眼視差の変化の場合には、観察者の融合可能な範囲はさらに広くなることが知られている⁸⁾。

3.4 被験者の回答方法

被験者には、測定の前に練習試行として、視差量がステップ状に変化した後の画像を提示し、どのように知覚されたかの回答を求めた。回答時には、紙で作成した4通りの模形を提示し、知覚された位置、形状と同じ模型を選ぶことで回答した。円錐全体の位置が周辺の格子模様と比較して、手前か奥か、また、円錐の形状が細くなっていくのは、手前か奥かについて、提示画像が、正常に立体知覚された場合と矛盾なく回答ができるまで、視差量を変化させながら練習試行を行った。

練習試行を終えた被験者には、ステップ状の両眼視差変化後に知覚された提示画像の奥行き位置のみの回答を求めた。回答は、図2下部に示した画面上のアイコンをマウスで指示することで行った。4つのアイコンは、被験者の眼球と表示装置の上面図であり、左からそれぞれ、表示面よりも奥、手前、1つの像に見えるがわからない、2つの像に見えるという回答に相当する。この回答方法は、両眼視差のない周囲像との対比が保証され、被験者の視力が充分でない場合でも、ある程度回答可能であるという利点を持つ。ただし、判断が2段階の判断を必要とする四者択一となる。

3.5 測定例

図3に測定例を示す。グラフの上半分の領域は表示面よりも奥に知覚される場合(以下、非交差性視差と記す)、下

図 3 測定例
Example response of a subject.

半分の領域は、表示面よりも手前に知覚される場合(以下、交差性視差と記す)を示す。横軸は試行回数を示し、各記号は1つの試行に対する被験者の回答を表す。

●：正答

×：1つの像に見えるがわからない、または、2つの像に見える。

－：誤答

例えば、図3では、1回めの試行では、両眼視差約0.36度の交差性視差を持つ刺激が提示され、被験者は正しく回答したことを示す。

非交差性視差の刺激に対して、被験者の判断が正解でない試行が3回続いた場合、非交差性側の融像性輻湊限界(開散側の限界)が決定される。交差性視差に対しても同様に決定される(輻湊側の限界)。しかし、被験者には、融像性輻湊限界の決定は通知されず、両側の融像性輻湊限界が決定した後、10試行程度のダミー試行の後実験は終了する。このダミー試行の結果は、決定された融像性輻湊限界の値が妥当なものであるかどうかの判断に利用した。つまり、ダミー試行の内、決定された融像性輻湊限界よりも小さな両眼視差を持つ試行では、被験者の回答はおおむね正答であり、大きな両眼視差を持つ試行では、被験者の回答はおおむね正答以外である場合のみ、決定された融像性輻湊限界の値が妥当なものであると判断した。そうでない場合には、被験者の陥っていると疑われる誤りや勘違いを正すための説明を行い、被験者が正しく理解できたと思われる状態で、再実験を行った。

4. 被 験 者

今回の測定対象となった被験者群の情報を示す。

人数：男性179名、女性122名、合計301名であった。

年齢：大学生を中心とした平均20.42才、標準偏差3.62才、範囲は18～67才であった。図4に年齢の分布を

図 4 年齢の分布
Histogram of age (N=301).

図 5 瞳孔間距離
Histogram of inter pupil distance (N=301).

示す。

日常状態での視力矯正：無矯正138名、近視矯正159名、遠視矯正1名、不明3名であった。

図 6 立体視力
Histogram of stereo acuity ($N=295$).

図 8 (a) 融像性輻湊限界 (非交差性視差)
Histogram of fusional divergence limit ($N=301$).

図 7 眼位ずれの分布
Histogram of eye position ($N=180$).

図 8 (b) 融像性輻湊限界 (交差性視差)
Histogram of fusional convergence limit ($N=301$).

立体画像の観察経験：経験あり 181 名，なし 119 名，不明 1 名であった。

瞳孔間距離：0.6 m 注視時における 301 名の分布を図 5 に示す。正規分布の適合度検定では $p=0.083$ で有意差は検出されなかった。

立体視力：295 名の分布を図 6 に示す。測定は 284 名には Randot Stereotests(提示視差 20, 25, 30, 40, 50, 70, 100, 140, 200, 400 秒)を用い，11 名には Titmus Circle Test(提示視差 40, 50, 60, 80, 100, 140, 200, 400, 800 秒)を用いたので，両者のデータの統合のため，横軸の区間を視差 0～30, 30～50, 50～70, 70～100, 100～200, 200～400 秒に統合を行った。たとえば，区間 30～50 秒に含まれる被験者は，Randot Stereotests で 30 秒の視標は立体知覚不可であったが，40 秒の視標は立体知覚可能であったか，または，Titmus Circle Test で最小視差の 40 秒の視標まですべての視標で立体知覚可能であったことを示す。

眼位の分布：180 名の分布を図 7 に示す。

5. 融像性輻湊限界の測定結果

被験者 301 名について，図 8(a)(b)に度数分布(左側軸)と累積相対度数(右側軸)を示す。融像性輻湊限界の各区間の度数と累積相対度数を付録に示す。平均，標準偏差はそれぞれ，平均 3.40 度，標準偏差 1.59 度(非交差性視差)，平均 5.04 度，標準偏差 5.06 度(交差性視差)であった。

6. 考 察

6.1 融像性輻湊限界の人口分布

累積相対度数を示す図 8(a)(b)または付録より，急激，不連続な両眼視差の変化が 1 度程度に収まるようにすれば，今回の実験条件では，ほとんどの観察者(約 87%)は二重像にならずに融合して観察することができることを

示している。また、急激、不連続な両眼視差の変化が2度程度あると、今回の実験条件では約半数の観察者は、二重像を知覚することを示している。また、不連続な両眼視差変化が1度程度であれば、不連続な両眼視差変化に追従できるということは、今回の実験で用いた、形状を伴う単眼での手がかりの含まれる画像に対しては、視覚系が1度程度の不連続な両眼視差変化を検出する能力やメカニズムを持つことを示す。それ以上の大きさの不連続な両眼視差変化については、視覚系が検出できないのか、検出できても他の制約条件により融像できないのかは不明である。また、今回用いた測定装置に、単眼での手がかりの含まれないランダムドットステレオグラムを刺激画像として提示し、同様の測定を行った予備の実験では、形状を伴う画像での測定値と比較して、融像性輻湊限界の値が、非交差性視差で30%、交差性視差で23%程度になるという結果が得られた(ウィルコクソン符号付順位検定で有意差あり。非交差性視差で、同順位補正両側 P 値=5.48 e-10、交差性視差で同順位補正両側 P 値=6.55 e-10)。一方で、ランダムドットステレオグラムに単眼での手がかりを追加することで、立体視成立までの時間が短縮するという報告もあり⁹⁾、画像に含まれる単眼での手がかりが、不連続な両眼視差変化の検出、融像において大きな役割を果たしていることが示唆される。

また、文献6での交差性視差での融像性輻湊限界の17名の平均17.78度に対して、今回の結果は、301名の平均5.04度となり、マン・ホイットニの検定でも有意差が検出された($p=8.72$ e-6)。これは、測定に用いた画像とその提示方法に起因し、特に、両眼視差を不連続に変化させている点が、主な理由であると考えられる。

6.2 立体画像の観察経験と融像性輻湊限界の関係

立体画像の観察経験の有無によって、融像性輻湊限界に差があるかどうかを検討するため、まず、融合限界の統計的な分布を正規分布に変換できるかどうかを検討する。被験者301名の度数分布、図8(a)(b)より、低い融像性輻湊限界の値の方に偏った分布であることがわかる。融像性輻湊限界の両眼視差の値を対数変換すると、非交差性視差の分布は正規分布に近くなり、正規分布との適合度検定で有意差が検出されなかった($p=0.13$)。これに対して、交差性視差の分布は、正規分布との適合度検定で有意差が検出された($p=9.06$ e-16)。両眼視差の値を対数変換した度数分布を図9(a)(b)に示す。この結果より、非交差性視差の分布に関しては、正規分布として扱えるため、今回の実験条件では上記の急激、不連続な両眼視差の変化の許容範囲を正規分布より求めることもできる。しかし、交差性視差の分布が正規分布として扱えないため、立体画像の観察経験の有無によって、融像性輻湊限界に差があるかどうかの検討は、マン・ホイットニ検定を用いた。結果を表2(a)(b)に示す。これより、交差性視差では、立体画像の観察経験のある被験者群の方が、有意に融像性輻湊限界

図9 (a) 対数融像性輻湊限界 (非交差性視差)
Histogram of log fusional divergence limit ($N=301$).

図9 (b) 対数融像性輻湊限界 (交差性視差)
Histogram of log fusional convergence limit ($N=301$).

表2 (a) マン・ホイットニ検定結果(非交差性視差)
Mann-Whitney test of fusional divergence limit

立体画像の観察経験	データ数	順位和	平均順位
あり	181	27175.5	150.14
なし	119	17974.5	151.05
マン・ホイットニのU値	10834.5		
Z値	-0.088		
P値(両側確率)	0.93		
同順位補正P値(両側確率)	0.93		

表2 (b) マン・ホイットニ検定結果(交差性視差)
Mann-Whitney test of fusional convergence limit

立体画像の観察経験	データ数	順位和	平均順位
あり	181	29069.5	160.60
なし	119	16080.5	135.13
マン・ホイットニのU値	8940.5		
Z値	2.49		
P値(両側確率)	0.013		
同順位補正P値(両側確率)	0.013*		

が大きいことが示されたが($p=0.013$), 非交差性視差では, 両者の間に有意差は検出されなかった($p=0.93$). 立体画像の観察経験によって, 交差性視差での融像性輻湊限界が広がることから, 観察経験は交差性視差で有効に働いていることが示唆された. 一方, 非交差性視差では有意差が見られないのは, 普段の実体視において, 非交差性視差側では, 無限遠を観察する機会が多分にあり, 訓練の余地が少ないことを反映していると考えられる.

6.3 眼位ずれの影響

今回の眼位ずれの測定結果(図7)は, 眼科臨床で行われている, 無自覚症人についての斜位の分布の測定結果¹⁰⁾と比較して, 中央(眼位ずれ0)への集中度が高い. 文献での測定方法が明らかでないが, 一般的に眼科臨床では, 大型弱視鏡やプリズムなどを用いて, 視野全体を操作して測定を行うため, 上記文献においても, 同様の方法で測定を行ったことが推測される. 一方, 今回の測定では, 立体テレビを想定した測定装置を用いているため, 画枠が存在し, 融像を完全に断った状態とはいえないこと, 画枠の内側のみの視野に対して操作を行い, 測定を行っていることなど, 測定法に起因する差の影響が考えられる.

斜位の分布においては, 2~3度の水平斜位は生理的なものとされているため, 今回の眼位ずれの測定結果についても, 眼位ずれが2度以上の被験者15名のみを抽出し, 融像性輻湊限界との関連について検討した. 眼位ずれと融合限界の平均値との回帰分析を行った結果, 有意傾向($p=0.058$)となり, 2度以上の眼位ずれを持つ被験者は, 融像性輻湊限界の平均値が眼位ずれの方向にシフトしていることが示唆された. この点については, すでに参考文献⁶⁾においてその可能性が指摘されており, 今回はそれを追認した結果となった.

6.4 立体視力

図6の分布は, 値の小さい区間側への偏りが見られる. これは, 測定可能な最小視差が20秒であったため, さらに, 小さい両眼視差を立体知覚可能である被験者が, 最小の区間0-30秒に統合されたためである. 理想的な条件では数秒程度の立体視力が報告されており¹¹⁾, 実際の分布は, 両眼視差20秒以下にも延びているものとするのが妥当である. また, その分布も対数正規分布となることも報告されている¹²⁾.

また, 立体視力と融像性輻湊限界は, 閾値と限界値の関係であるため, 直接的な関係はないと予想される. これを確認するため, 立体視力と融像性輻湊限界の関係を検討した. 融像性輻湊限界の交差性, 非交差性視差側の値を加え, 融像性輻湊限界幅を求めた. これと, 立体視力の値毎に平均を取った値の回帰分析を行った. その結果, $p=0.59$ で有意でなく, 回帰直線の傾きはほとんど0(-0.00088)になった. よって, 立体視力と融像性輻湊限界は関係がないことが確認された.

今回測定した被験者の中には, 立体視力が比較的低い被

付表(a) 融像性輻湊限界の度数分布表(非交差性視差)

Distribution of fusional divergence limit (N=301)

階級下限値	実測度数	相対度数	累積相対度数
0	1	0.0033	0.0033
1	38	0.1262	0.1296
2	108	0.3588	0.4884
3	83	0.2757	0.7641
4	37	0.1229	0.8870
5	16	0.0532	0.9402
6	8	0.0266	0.9668
7	6	0.0199	0.9867
8	1	0.0033	0.9900
9	1	0.0033	0.9934
10	0	0.0000	0.9934
11	0	0.0000	0.9934
12	1	0.0033	0.9967
13	1	0.0033	1.0000

付表(b) 融像性輻湊限界の度数分布表(交差性視差)

Distribution of fusional convergence limit (N=301)

階級下限値	実測度数	相対度数	累積相対度数
0	1	0.0033	0.0033
1	38	0.1262	0.1296
2	103	0.3422	0.4718
3	58	0.1927	0.6645
4	25	0.0831	0.7475
5	13	0.0432	0.7907
6	9	0.0299	0.8206
7	6	0.0199	0.8405
8	6	0.0199	0.8605
9	8	0.0266	0.8870
10	4	0.0133	0.9003
11	4	0.0133	0.9136
12	4	0.0133	0.9269
13	4	0.0133	0.9402
14	3	0.0100	0.9502
15	0	0.0000	0.9502
16	2	0.0066	0.9568
17	1	0.0033	0.9601
18	0	0.0000	0.9601
19	1	0.0033	0.9635
20	1	0.0033	0.9668
21	0	0.0000	0.9668
22	0	0.0000	0.9668
23	4	0.0133	0.9801
24	1	0.0033	0.9834
25	1	0.0033	0.9867
26	0	0.0000	0.9867
27	3	0.0100	0.9967
28	1	0.0033	1.0000

験者は含まれていたが、完全な立体盲は含まれていなかった。立体視力が比較的低い被験者の中には、視力矯正が必要であるが日常状態では矯正を行っていないため、十分な視力、立体視力が得られない者、静的立体視が困難であるが、動的立体視は可能である者、左右視力のアンバランスが原因であると考えられる者が含まれていた。立体テレビシステムにおいては、このような日常の観視者の状態や視機能の多様性を考慮する必要がある。

7. ま と め

多数の観察者で測定を実施した結果、融像性輻湊限界の分布が明らかとなった。交差性視差では、立体画像の観察経験のある被験者の方が、ない被験者よりも有意に融像性輻湊限界が大きく、立体画像の観察経験は、交差性視差での融像性輻湊限界を増大させる効果があることが示唆された。一方、非交差性視差では、両者の間に有意差は検出されなかった。また、融像性輻湊限界が眼位ずれの影響を受けることが明らかとなった。さらに、立体視力と融像性輻湊限界は関係がないことが確認された。このような融像性輻湊限界の分布を求めることより、ある視差変化を含む立体画像が、どれくらいの割合の観察者に視覚的負担を強いることになるかが予測可能となるので、立体画像番組制作に際して、1つの基本指針となると考えられる。

また、これまでに行われた融像性輻湊限界測定との比較により、測定方法や提示画像によって、融像性輻湊限界の測定値が変化することが確認された。

最後に、本研究を進めるに当たり、多大なるご協力を頂いた、日本福祉大学 鶴飼一彦教授、北里大学 岩井榮一教授、文化女子大学 香川幸子助教授、ならびに、被験者としてご協力いただいた方々に感謝の意を表する。

〔文 献〕

- 1) 長田：「両眼立体映像における両眼融合限界の特性と人口分布の測定システム」, 3次元画像コンファレンス講演論文集, pp. 252-257 (1999)
- 2) S. Nagata: "The Binocular Fusion of Human Vision on Stereoscopic Displays-Field of View and Environment Effects", *Ergonomics*, **39**, 11, pp. 1273-1284 (1996)
- 3) A. E. Kertesz: "Effect of Stimulus Size on Fusion and Vergence", *JOSA*, **71**, 3, pp. 289-293 (1981)
- 4) 小島, 岡島: "動的視標を用いた融像幅の測定", *あたらしい眼科*, **6**, 10, pp. 1529-1532 (1989)
- 5) 丸尾: "視能矯正マニュアル", メディカル葵出版, pp. 143-145 (1999)
- 6) 細島, 近江, 不二門: "3D映像における融像性輻湊の限界", *眼科臨床医報*, **12**, pp. 1539-1542 (1996)
- 7) Wirt S. E.: "A New Near-Point Stereopsis Test", *Optometric Weekly*, **38**, 647-649 (1942)
- 8) 渡辺, 飯田, 杉原: "立体視ディスプレイにおける両眼融合特性", 機学会スポーツ工学シンポジウム・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集, pp. 291-293 (1998)
- 9) Saye, A. & Frisby, J. P.: "The Role of Monocularly Conspicuous Features in Facilitating Stereopsis from Random-Dot Stereograms", *Perception*, **4**, pp. 159-171 (1975)
- 10) 安藤, 邸, 中道, 矢部: "神経性眼精疲労における循環動態の検討", *眼科臨床*, **27**, 7, pp. 871-880 (1973)
- 11) Tyler, C. W.: "Stereoscopic Vision: Cortical Limitations and a Disparity Scaling Effect", *Science*, **181**, pp. 276-278 (1973)
- 12) Hofstetter H. W.: "Absolute Threshold Measurements with the Diastereo Test", *Arch. de la Sociedad Americana de Oftalmologia Optometria*, **6**, pp. 327-343 (1968)

えもと まさき
江本 正喜 1988年、京都大学大学院工学研究科修士課程電気工学修了。同年、NHKに入局。同岡山放送局を経て、1991年より、同放送技術研究所ヒューマンサイエンスに勤務。立体画像の基礎的研究に従事。正会員。

やの すみお
矢野 澄男 1977年、電気通信大学応用電子工学科卒業。同年、NHKに入局。同奈良放送局を経て、1981年、同放送技術研究所。1992年～1995年、(株)ATR人間情報通信研究所に就任。現在、同放送技術研究所ヒューマンサイエンス主任研究員。放送方式、視覚情報処理の研究に従事。工博。正会員。

ながたしろう
長田昌次郎 1960年、米子工業高校卒業。1965年、東京電機大学卒業。1960年、NHK技術研究所に入所。以来、テレビ新画像システムと画質評価・視覚効果、生体情報処理特性、最近では3D・立体映像システムと3次元空間視との関係の研究に従事。1994年以来、SPIE (Conf. on SD & A, REoVR) 運営委員。