高精細画像の見やすい視距離に関する一検討

Evaluation of Viewability of High-Definition Images

鈴木 紀子[†], 正会員 矢野 澄男^{†*}

Noriko Suzuki[†] and Sumio Yano^{†*}

Abstract We provide a subjective and objective evaluation of the viewability of high-definition images. First, we examined the preferred viewing distance for images of different sizes, including monoscopic and stereoscopic ones. Second, we measured the eye movements of participants on comparing the preferred with the non-preferred viewing distance. The results indicate two points. First, for larger images (greater than 70 in.), including either stereoscopic or monoscopic images, the preferred viewing distance is 2.0 to 2.5 times the absolute display height. Second, eye movement may determine a person's preferred viewing distances. These results could provide a guideline for the design of the visual environment, including larger, stereoscopic display systems with high-definition.

キーワード: 高精細画像, 画面サイズ, 見やすさ, 視距離, 眼球運動

1. ま え が き

ここ数年の間に、映画館では立体映画の上映本数が急増し、立体テレビの市販が大規模に展開されている。それにとともに、立体映像を観視する機会が増え、人々の日常生活に入り込む様相をみせている。

これに先立ち、さまざまな立体画像表示技術が研究開発されると同時に、立体画像が人体に及ぼす影響に関する研究も行われ¹⁾、快適な立体映像を実現するためのガイドラインの策定に寄与している²⁾。

一方、画像の見やすさについて、これまでに平面画像を対象とした画面サイズと最適な視距離に関する研究は、標準画質画像^{3)~11)}・高精細画像^{12)~14)}のいずれにおいても数多く行われている。しかし、立体画像を対象とした見やすい視距離についてはあまり考慮されていない。映像システムが立体・大画面化しつつある現状を踏まえると、立体画像を含めて高精細画像の見やすさについて検討を行うことが必要である。

このような経緯から、本論文では高精細のステレオおよ

び平面画像を対象とし、主観評価によって見やすい視距離と画面サイズの関係を調べた。ただし本論文では、画面サイズが見やすい視距離に与える影響を明らかにするために、視差量の影響を軽減すべく、画面全体に均一に視差量が付与されたステレオ画像を用いた。さらに、平面画像を対象とし、見やすい視距離とは人のどのような行動特性によって決まるのかを客観評価実験を通して明らかにする。これらの実験結果は、ステレオ画像を含めた今後の高精細映像のシステム設計において基礎的な指針となることが期待される。

2. 主観評価:見やすい視距離の計測

本章では、平面画像および両眼融像方式によるステレオ画像を対象とし、画面サイズを変化させた際に視距離に及ぼす影響について検討した結果を報告する。

これまで、映像システムの視距離に関して、標準画質 (SDTV: 720 × 480 pixels) の場合では、画面高の 6 倍 (6.0H)¹⁵⁾、高画質については、HDTV(1,920 × 1,080 pixels) の場合では 3 倍 (3.0H)¹⁶⁾、UHDTV(7,680 × 4,320 pixels) の場合では 0.75 倍 (0.75H)¹⁷⁾ といわれている。しかし、これらは人の視覚機能に基づいて走査線構造が知覚されない、すなわち走査線が分離して見えない位置として算出された値であり、人の心理的要因はほとんど考慮されていない。そこで本論文では、高精細のステレオおよび平面画像を用いて、人の主観に基づいた見やすい視距離の計測を行うこととした。

2009 年、冬季大会、2010 年、3DSA 2010・IDW'10 で発表

2011 年 3 月 8 日受付、2011 年 5 月 23 日再受付、2011 年 7 月 26 日採録

† (独) 情報通信研究機構ユニバーサルメディア研究所センター

(〒 619-0288 京都府相楽郡精華町光台 2-2-2, Tel 0774-95-1422)

* 現在、NHK 放送技術研究所

† Universal Media Research Center, National Institute of Information and Communications Technology (NICT)

(2-2-2, Hikaridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto 619-0288, Japan)

* Current affiliation: Science & Technology Research Laboratories, Japan Broadcasting Corporation (NHK)

2.1 実験方法

実験の条件を表 1 に示す。本実験では、実験参加者が中央正面から画面を見て、最も見やすいと感じる視距離を調べた。調整の基準は、特定の部分要素に着目せず、画面全体が実験参加者の視野内に収まりのいい位置とした。また本実験では、画面サイズが見やすい視距離に与える影響を明らかにするため、視差量の影響を軽減すべく、画面全体に均一に視差量が付与されたステレオ画像（以降、視差の分布が一様なステレオ画像と記述）を用いた。

視差の分布が一様なステレオ画像および平面画像の提示は、最高解像度 2400×1200(dpi) の大判プリンタ (Canon 社製 iPF8100) でフォト光沢紙に印刷したものを用いた。ステレオ画像の作成には、アナグリフ方式を採用した。平面カラー画像をグレースケールに変換し、画面全体に均一に左右画像の対応点を水平方向に移動した 2 眼融像画像を生成した。本実験における水平方向の視差量は、先行研究で得られた快適もしくは視覚疲労のない視差の範囲 ($\pm 0.3D(1.03^\circ)^{18}$), $\pm 0.82^\circ^{19}$), $2\sim 3PD(1.15\sim 1.72^\circ)^{20}$) を参考とし、いずれの画面サイズにおいても画面の高さの 3 倍 (3H) の視距離から見た場合に 0.40° となるように設定した。

画面の垂直方向の midpoint の高さを実験参加者の眼高近辺に合わせるため、産業総合技術研究所 (AIST) 人体寸法・形状データベース²¹⁾ に基づき、男性・女性それぞれの平均値 (1596mm, 1476mm) に合わせて画面を掲示した。実験参加者は、平面画像観視時には何も装着せず、視差の分布が一様なステレオ画像観視時には、シアンとマゼンダで構成されるアナグリフ眼鏡を装着した。アナグリフ眼鏡の左右を反転することで、画像全体が画像提示面より手前方向に飛び出す場合（以降、交差視差の場合と記述）、画像提示面より遠方に引っ込む場合（以降、非交差視差の場合と記述）の双方が観視可能である。視差の分布が一様なステレオ画像における交差視差および非交差視差の場合と画像の奥行き関係の詳細については、付・図 1 に示す。

実験時には、すべてのサイズの画面を実験室の壁面に掲示し（図 1）、順序効果を考慮して実験参加者にはランダムに提示した。1 回の計測につき、実験参加者は同一サイズの画面を 3 回観視する機会があるように設定した。また、実

図 1 実験室の概観
Appearance of experimental laboratory.

表 1 主観評価の実験条件
Experimental conditions for subjective evaluation.

実験参加者	12 名 (男性: 6 名, 女性: 6 名) (視力 1.0 以上, 立体視可能 [†])
試行回数	6 回/人
画面サイズ (幅 × 高さ, 単位 mm)	364 × 257; 515 × 364; 728 × 515; 1,030 × 728; 1,456 × 1,030; 2,060 × 1,456 (対角線長: 18, 25, 35, 50, 70, 99 インチ)
絵柄 画像	4 種類 (山, 木, 人物, 物体) 平面画像: カラー ステレオ画像: グレースケール・アナグリフ方式 (視差一定: 3H の視距離で 0.40°) いずれも 2,400 × 1,200 dpi でフォト光沢紙に印刷
評価方法	調整法
画面の照度 ‡: 水平方向 (平均値)	左上: 118~576 lx. (320 lx.), 中央: 211~498 lx. (354 lx.), 右上: 117~498 lx. (333 lx.), 左下: 178~447 lx. (289 lx.), 右下: 94~420 lx. (277 lx.)
画面の照度 ‡: 垂直方向 (平均値)	左上: 61~988 lx. (422 lx.), 中央: 140~874 lx. (478 lx.), 右上: 58~853 lx. (449 lx.), 左下: 204~857 lx. (470 lx.), 右下: 104~781 lx. (463 lx.)
照明	白色蛍光灯

[†] Stereo optical 社ステレオフライテストを使用。

[‡] 照度計 Minolta 社 T-10 で計測。

験参加者には、立位の状態で画面に対して直交する方向に自由に移動できることを教示し、調整法に基づき近方から遠ざかる方法と遠方から近づく方法の 2 条件で見やすい視距離を測定した。よって実験参加者は、同一絵柄・同一サイズの画面を 3 回 × 2 条件の計 6 回観視したことになり、各実験参加者の見やすい視距離として、6 回の計測値の平均値を算出した。視距離は、レーザ距離計 (Leica 社 DISTO Classic および Tajima 社 F03) を用いて計測した。

図 2 に実験で使用した絵柄を示す。以降本稿では、各画像を「山 (Mountain)」「木 (Tree)」「人物 (Person)」「物体 (Objects)」と記す。

2.2 実験結果

調整法により得られた実験結果を図 3~6 に示す。各図

図 2 実験で使用した絵柄: (a) 山 (左上), (b) 木 (右上), (c) 人物 (左下), (d) 物体 (右下)

Test pictures: (a) mountain (upper left), (b) tree (upper right), (c) person (lower left), (d) objects (lower right).

図 3 平面画像に対する主観評価実験結果
Results of subjective assessment to monoscopic images.

表 2 平面画像に関する分散分析表
Analysis of variance for monoscopic images.

変動要因	自由度	平方和	平均平方	F 値
主効果				
絵柄	3	44.06	14.69	8.10 *
画面サイズ	5	573.61	114.72	63.25 *
交互作用				
絵柄 × 画面サイズ	15	17.82	1.19	.66
残差	1704	3090.56	1.81	

多重比較の結果

絵柄	山	木	人物	物体
山 (Mountain)	-	n.s.	< *	n.s.
木 (Tree)	-	< *	n.s.	
人物 (Person)	-	-	n.s.	
物体 (Objects)			-	

多重比較の結果

画面サイズ	18 In.	25 In.	35 In.	50 In.	70 In.	99 In.
18 In.	-	n.s.	n.s.	> *	> *	> *
25 In.		-	n.s.	> *	> *	> *
35 In.			-	> *	> *	> *
50 In.				-	> *	> *
70 In.					-	n.s.
99 In.						-

では、縦軸に画面の高さで正規化した相対視距離 (Viewing distance per absolute screen height: V/H) および水平呈示角 (Visual angles) を、横軸に画面サイズ (Screen size: In.) をそれぞれ示す。図中の各点における垂直方向の棒は、標準誤差を示している。一方、表 2~4 に二元配置分散分析の結果を、表 5 に一元配置分散分析の結果をそれぞれ示す。有意差のみられた要因については、Scheffe の方法による多重比較を行った。表中では、5%水準で有意であったものを * で、有意傾向であったものを $\pm$ で、有意差のなかったものを n.s. でそれぞれ記述している。これらの検定結果から、交互作用には有意差がみられない一方で、絵柄・画面サイズ・画像表示方法といった主効果には 5%水準で有意差があることがうかがえる。

画面に対する最適視距離に関する従来研究^{3)~14)}と本実験結果を対比させたものを図 7 に示す。

2.3 考察

図 3~7 および表 2~5 の実験結果から、以下のことが明らかになった。

図 4 視差の分布が一樣なステレオ画像 (非交差視差の場合) に対する主観評価実験結果
Results of subjective assessment to stereoscopic images: uncross disparities.

表 3 視差の分布が一樣なステレオ画像 (非交差視差) に関する分散分析表
Analysis of variance for stereoscopic image: uncross disparities.

変動要因	自由度	平方和	平均平方	F 値
主効果				
絵柄	3	45.63	15.21	3.37 *
画面サイズ	5	670.65	134.13	29.73 *
交互作用				
絵柄 × 画面サイズ	15	14.98	1.00	.22
残差	1704	7687.08	4.51	

多重比較の結果

絵柄	山	木	人物	物体
山 (Mountain)	-	n.s.	n.s.	n.s.
木 (Tree)	-	< *	n.s.	
人物 (Person)	-	-	n.s.	
物体 (Objects)			-	

多重比較の結果

画面サイズ	18 In.	25 In.	35 In.	50 In.	70 In.	99 In.
18 In.	-	n.s.	> *	> *	> *	> *
25 In.		-	n.s.	> *	> *	> *
35 In.			-	n.s.	> *	> *
50 In.				-	n.s.	n.s.
70 In.					-	n.s.
99 In.						-

(1) 画面サイズを比較した場合

図 3~6 および表 2~4 から、平面・ステレオの画像表示方法によらず、見やすい視距離は画面サイズが大きくなるに従いなだらかに減少していき、画面サイズ 70 インチ以降は 2.0~2.5H(H: 画面の高さで正規化した単位) 近辺に収束していくことがうかがえる。したがって、高精細の平面および視差の分布が一樣なステレオ画像の視距離は、画面サイズが比較的小さい場合は画面サイズの影響を受けるものの、画面サイズが拡大していくにしたがって、その影響は軽減されていくと考えられる。

本実験では、2.1 節に記述したように、画面サイズによらず水平方向の視差量一定 (視距離 3H では 0.40°) の条件下で視距離の計測を行った。よってこの結果は、水平方向の視差量の影響をほとんど受け

図 5 視差の分布が一樣なステレオ画像 (交差視差の場合) に対する主観評価実験結果

Results of subjective assessment to stereoscopic images: cross disparities.

表 4 視差の分布が一樣なステレオ画像 (交差視差の場合) に関する分散分析表

Analysis of variance for stereoscopic images: cross disparities.

変動要因		自由度	平方和	平均平方	F 値
主効果	絵柄	3	18.43	6.14	1.70
	画面サイズ	5	574.50	114.89	31.85 *
交互作用	絵柄 × 画面サイズ	15	15.37	1.03	.28
残差		1704	6146.19	3.61	

多重比較の結果: 画面サイズ

画面サイズ	18 In.	25 In.	35 In.	50 In.	70 In.	99 In.
18 In.	-	n.s.	> *	> *	> *	> *
25 In.		-	n.s.	> *	> *	> *
35 In.			-	n.s.	> *	> *
50 In.				-	n.s.	n.s.
70 In.					-	n.s.
99 In.						-

ず、画面サイズの変化のみに対して得られたものであるといえる。

(2) 絵柄を比較した場合

図 3～5 および表 2～4 より、視差の分布が一樣でかつ交差視差条件のステレオ画像では見やすい視距離に関して絵柄間で有意な差はない一方で、平面画像および視差の分布が一樣でかつ非交差視差条件のステレオ画像では「人物 (Person)」の場合は「木 (Tree)」の場合よりも遠方で見ている。よって、絵柄の内容が人物である場合は、人工物や他の自然物とは異なり、見やすい視距離に影響を与える可能性がある。しかしながら、人物に代表されるように大きさの恒常性を持つ対象と見やすい視距離との関係については、今後の課題と考えられる。

(3) 視差の分布が一樣なステレオ画像と平面画像を比較した場合

図 6 および表 5 から、平面画像と比較して、非交差視差・交差視差のいずれの場合においても、視差の分布が一樣なステレオ画像を遠方で見ている。

視差の分布が一樣でかつ交差視差条件のステレオ

図 6 平面および視差の分布が一樣なステレオ画像に対する主観評価実験結果

Results of subjective assessment between monoscopic and stereoscopic images.

画像を見た場合には、呈示されている壁面より前方に画像があるように見えるため、人にとって画像を見やすい位置は、平面画像の場合より後方に下がると考えられる。この場合、実験参加者の眼間距離と左右像距離から計算される画像の高さ・幅は、平面画像の 0.7 (視距離 2.5H)～0.9 倍 (視距離 4.5H)、先行研究から知覚される大きさは 0.9 倍程度 (視差 0.50° 近辺)²²⁾ になると推測され、やや小さくなるものの、見かけのサイズの変化は視距離にほとんど影響を与えず、画像の融合位置のみが影響を与えたと考えられる。

一方、視差の分布が一樣でかつ非交差視差条件のステレオ映像を見た場合には、画像は壁面より後方にあるように見えるため、見やすい位置を前方に移行すると考えられる。しかしながら、壁面よりも後方に画像があるように見えるものの、その高さ・幅は、前述と同様の計算上では平面画像の 1.1 (視距離 4.5H)～2.0 倍 (視距離 2.5H)、知覚される大きさは 1.1 倍程度 (視差 0.50° 近辺)²²⁾ と推測され、やや大きくなるため、この影響により、視距離が平面画像の場合よりも長くなったと考えられる。

本実験では、画面サイズを変化させた場合における高精細の平面画像とステレオ画像の最適視距離を調べることを目的としており、ステレオ画像の視差量の影響を軽減する必要があったため、画面全体に均一に視差量を付与した。したがって実験結果から、画面サイズの変化に応じた高精細ステレオ画像の見やすい位置が示唆されていると考えられる。しかしながら、実際に観視されるステレオ画像では、視差量が画面全体に一樣に分布する場合は稀であるため、投影面の前後に画像内容が表示されるような多様な視差量を付与された画像を用いて、本実験と同様の検証を行うことが不可欠である。

図 7 先行研究との比較
Comparison with previous studies.

表 5 平面およびステレオ画像 (交差視差・非交差視差の場合)
に関する分散分析表
Analysis of variance between monoscopic and stereoscopic
image.

変動要因	自由度	平方和	平均平方	F 値
平面/ステレオ画像	2	25.53	12.77	3.50 *
残差	5181	18898.84	3.65	
多重比較の結果				
画面表示方法	平面画像	ステレオ画像 (非交差視差)	ステレオ画像 (交差視差)	
平面画像	-	<†	<*	
ステレオ画像 (非交差視差)		-	n.s.	
ステレオ画像 (交差視差)			-	

(4) 従来研究結果と比較した場合

図 7(記号のみもしくは灰色の線で示された部分) より, 標準画質の平面画像の視距離は, 静止画・動画を含めて画面サイズ 30 インチ以下では概ね画面高の 6 倍 (6.0H) 以上となっている^{3)~11)}。これは, 走査線構造の影響を考慮して決められた視距離 6.0H¹⁵⁾ とほぼ等価な値であるものの, 画面サイズが 40 インチと大画面化していくに従い, 視距離は 5.0H¹¹⁾ と相対的に近くなる傾向が見て取れる。

一方, 高画質の平面画像の視距離は, 図 7(実線で示された部分) より, 画面サイズが 70 インチの場合に静止画では約 1.0~1.5H¹²⁾¹³⁾, 動画では約 4.0H¹⁴⁾ という結果である。本実験では, 視差の分布が一般的なステレオ・平面のいずれの画像においても, 画面サイズが 70 インチ以上の場合には 2.0~2.5H の視距

離となっている。いずれも, これまでに走査線構造の影響を考慮して決められた視距離 3.0H¹⁶⁾ とは異なる結果となっている。したがって, 高精細画像に対する見やすい視距離は, 走査線構造の影響をそれほど受けないのではないかと考えられる。

また, 高精細画像を対象とした従来研究^{12)~14)} と本実験の視距離の異なる理由として, 静止画・動画という画像表示形式の差異により, 画面内容に変化の生じる動画より静止画呈示の場合における視距離が短くなることが考えられる。さらに, 教示内容の違い (畑田ら¹²⁾ は臨場感を評定) や評価画像のアスペクト比の違い (成田ら¹³⁾ は 5:4 を使用) もあげられる。

3. 客観評価: 見やすい視距離・見にくい視距離における眼球運動の計測

前章では, 主観評価を用いて人にとって見やすい平面画像・視差の分布が一般的なステレオ画像の観視距離を明らかにした。本章では, 見やすい視距離とは人のどのような行動特性で決まるのかを調べるため, 客観評価を行った結果について報告する。評価手段として, 画質の評価²³⁾ や平面・ステレオ動画像の比較評価²⁴⁾ 等で援用されている眼球運動に着目し, 見やすい視距離と見にくい視距離における眼球運動特性を比較した。

本章の実験での見やすい視距離として, 前章の実験参加者のうち眼球運動計測装置で計測可能な 3 名の測定値から, 全画面サイズの平均水平呈示角である 30° と設定した。ま

表 6 客観評価の実験条件
Experimental conditions for objective evaluation.

実験参加者	3 名 (男性: 2 名, 女性: 1 名) (視力 1.0 以上, 立体視可能 [†])
試行回数	1 回/人
画面サイズ (幅 × 高さ, mm)	364 × 257; 728 × 515; 1,456 × 1,030; (対角線長: 18, 35, 70 インチ)
水平呈示角	15°, 30°, 60°
絵柄	2 種類 (山・人物 (第二章の実験と同一の絵柄))
画像	平面画像: カラー いずれも 2,400 × 1,200 dpi で フォト光沢紙に印刷
画面中央の照度 [‡]	水平照度: 267~534 lx., 平均値: 460 lx. 垂直照度: 792~892 lx., 平均値: 845 lx.
計測器機	EMR-8 (NAC イメージングテクノロジー社)
計測方法	角膜反射法 (30 Hz, 両眼)
計測時間	1 分間 (うち分析対象時間は 30 秒)
評価方法	注視点のキャンパスの水平成分 (Δx)

[†] Stereo optical 社ステレオフライテストを使用.

[‡] 照度計 Minolta 社 T-10 で計測.

図 8 客観評価実験の概観
Appearance of objective evaluation.

表 7 眼球運動計測時に用いた画面サイズ・水平呈示角・視距離の関係

Data table of screen sizes, visual angles and visual distances on measuring eye movements.

画面サイズ	水平呈示角		
	15 (deg.)	30 (deg.)	60 (deg.)
18 (In.)	1382 (mm)	679 (mm)	315 (mm)
35 (In.)	2765 (mm)	1358 (mm)	630 (mm)
70 (In.)	5530 (mm)	2717 (mm)	1261 (mm)

た, 見にくい視距離として, 見やすい水平呈示角 30° の 0.5 倍および 2.0 倍である 15° および 60° と設定した.

2.1 節で説明したように, 前章の実験で用いた画像は, 画面全体に均一に視差量を付与したものであった. この視差の分布が一様なステレオ画像を観視時には, 付・図 1 に示すように, 掲示している壁面に対して, 交差視差の場合は画面全体が前方に, 非交差視差の場合は後方へ移動したように知覚されると考えられる. そのため本章では, 画面に対する注視点の分布は, 平面画像を用いた場合と視差の分布が一様なステレオ画像を用いた場合では, ほとんど変わらないという仮定のもとで, 前章の実験で用いた平面画像のうち「山 (Mountain)」と「物体 (Object)」を用いて眼球運動の計測を行った. ただし, 両眼視差が多様な値で分布するステレオ画像を用いて眼球運動を計測することは今後の課題として残されている.

3.1 実験手法

客観評価の実験の条件を表 6 に示す. 本実験では, 平面画像を見ている実験参加者の 1 分間の眼球運動データを収録し, そのうち開始後 15~45 秒までの 30 秒間を分析対象

Histogram of Δx in horizontal gazing points

図 9 水平呈示角ごとの客観評価の結果: 注視点のキャンパスの水平成分 (Δx) の頻度分布

Results of objective assessment among different visual angles: histogram of Δx in horizontal gazing points.

表 8 客観評価の分析表
Analysis of objective assessment.

実験参加者	分散			統計量
	水平呈示角			
	15°	30°	60°	
Participant A	0.018	0.006	0.002	$F(2) = 1400.206$ *
Participant B	0.016	0.005	0.001	$F(2) = 2297.567$ *
Participant C	0.013	0.007	0.002	$F(2) = 1363.896$ *

とした. 実験参加者は主観評価実験の参加者のうち, 裸眼もしくはソフトコンタクトレンズ装着の 3 名を選定し, 画像を観視する見やすい視距離として水平呈示角 30°, 見にくい視距離として 15° および 60° の場合における眼球運動を計測した (図 8・表 7). 実験参加者には眼球運動計測装置を装着し, 立位で頭部をアゴ台に固定した状態でデータを収録した.

3.2 実験結果

本実験では, 眼球運動計測結果の中から各実験参加者の注視点のキャンパスの水平成分を分析対象とした. この値は, 注視点の定義²⁵⁾にしたがって注視点を算出後に, 注視点の水平成分の時間変化 (Δx) を抽出し, 画面の幅で正規化*したものである.

水平呈示角ごとに計測した各実験参加者の注視点のキャンパスの水平成分 (Δx) の頻度分布を図 9 に示す. この図では, 縦軸に Δx の値の頻度を, 横軸に画像の幅で正規化した Δx の値を示す. また, 表 8 に各水平呈示角における各実験参加者の Δx の分散の値, および Bartlett の等分散の検定結果 (F 値) を示す. 表中には, 5%水準で有意であっ

* 注視点が画像の右端から左端に動いた場合を -1.0, 左端から右端に動いた場合を 1.0 とする.

たものを*で記述している。検定結果から、いずれの実験参加者においても、水平呈示角間の Δx の値の分布が5%水準で有意に異なることがうかがえる。

3.3 考察

客観評価実験結果の図9に見られるように、いずれの水平呈示角の場合も Δx の値は-0.1~0.1の間に集中しているが、全体的に見ると水平呈示角15°の場合には-1.0~0.9まで幅広く分布している一方で、水平呈示角60°の場合には-0.5~0.5の狭い範囲の分布にとどまっている。水平呈示角30°の場合は、これらのちょうど中間となる-0.7~0.7あたりに分布している。したがって、前章の主観評価実験結果から算出した見やすい視距離である水平呈示角30°と、見にくい視距離である水平呈示角15°および60°では、 Δx の値の分布特性が異なると考えられる。これらの結果から、見やすい視距離と見にくい視距離では水平方向の眼球の運動の特性が異なる、すなわち人にとって見やすい視距離とは、水平方向における眼球の動かしやすさで決まる可能性のあることが示唆された。

4. むすび

本論文では、高精細画像の見やすさを評定することを目的とし、平面画像および両眼融像方式による視差の分布が一樣なステレオ画像を対象として、主観評価実験により異なる画面サイズにおける見やすい視距離について検討した。次に、客観評価実験では、平面画像を用いて、主観評価実験で得られた計測値から算出した見やすい視距離および見にくい視距離における眼球運動を比較することで、見やすさに関する人の行動特性の検討を行った。

主観評価の結果、交差視差・非交差視差いずれの場合においても、視差の分布が一樣なステレオ画像の見やすい視距離は平面画像よりも長くなることが明らかになった。一方、視差の分布が一樣なステレオ画像・平面いずれの画像においても、画面サイズが70インチ以上の場合には、見やすい視距離が画面の高さの2.0~2.5倍近辺に収束していく傾向が観察された。さらに、平面画像を用いた客観評価の結果から、人にとって見やすい視距離とは、水平方向の眼球の運動特性によって決まる可能性を明らかにした。

本論文の主観評価実験では、画面サイズが見やすい視距離に与える影響を明らかにするために、視差量の影響を軽減すべく、画面全体に均一に視差量が付与されたステレオ画像を用いた。よって実験結果から、画面サイズの変化に応じた高精細立体画像の見やすい位置が示唆されていると考えられる。しかしながら、実際に観視される立体画像では、視差量が画面全体に一樣に分布する場合は稀である。したがって、投影面の前後に画像内容が表示されるような多様な視差量を付与された画像を用いて、本論文と同様の実験を実施し、検証を行う必要がある。客観評価実験についても同じことがいえる。

今回得られた結果は、ステレオ映像を含めた高精細映像

の観視環境を設計する際の基礎的な指針を与えるものと思われる。今後の課題として、臨場感・疲労感等の他の心理的要因と視距離の関係を調べることで、立体映像システムの観視環境のより詳細な設計指針を明らかにすることがあげられる。また、立体動画像を呈示した場合の見やすい視距離を解明し、眼球運動の計測等の客観評価結果との対応を取ることも課題である。

本研究を進めるにあたり、貴重な研究の機会を与えていただいた(独)情報通信研究機構・ユニバーサルメディア研究センター井ノ上センター長(現ユニバーサルコミュニケーション研究所副所長)・安藤グループリーダー(現多感覚・評価研究室長)に感謝いたします。ご多忙のところご協力いただいた実験参加者の方々、ならびに有益なご助言をいただいた須佐見研究員(現近畿大学教授)・森田研究員をはじめ超臨場感システムグループの皆様に深謝いたします。また、実験実施にご協力いただいた神谷俊郎・鈴木幸平の両氏に謝意を表します。

〔文 献〕

- 1) 原島博 監修, 元木紀雄・矢野澄男 共編: 「3次元画像と人間の科学」, オーム社 (2000)
- 2) 3D コンソーシアム, “3DC 安全ガイドライン”, (http://www.3dc.gr.jp/jp/scmt-wg-rep/3dc-guideJ_gg20100420.pdf) (2010)
- 3) Fink, D.G.: “Color television vs. color motion pictures”, *Journal of the SMPTE*, **64**, pp. 281-290 (1955)
- 4) Jesty, L.C.: “The relation between picture size, viewing distance and picture quality”, *Proc. of the institution of electrical engineers - Part B: Radio and electronic engineering*, **105**, 23, pp. 425-439 (1958)
- 5) 大谷禎夫: “カラーテレビジョン画像の観視条件”, *テレビ誌*, **24**, 10, pp. 828-837 (1970)
- 6) Nathan, J.G., Anderson, D.R., Field, D.E. and Collins, P.: “Television viewing at home: distances and visual angles of children and adults”, *Human factors*, **27**, 4, pp. 467-476 (1985)
- 7) Lund, A.M.: “The influence of video image size and resolution on viewing-distance preferences”, *SMPTE Journal*, **102**, 5, pp. 406-415 (1993)
- 8) Ardito, M.: “Studies of the influence of display size and picture brightness on the preferred viewing distance for HDTV programs”, *SMPTE Journal*, **103**, 8, pp. 517-522 (1994)
- 9) Tanton, N.E.: “Results of a survey on television viewing distance”, BBC R&D White paper, WHP 090 (2004)
- 10) 窪田悟, 嶋田淳, 岡田想, 中村芳知, 城戸恵美子: “家庭におけるテレビの観視条件”, *映情学誌*, **60**, 4, pp. 597-603 (2006)
- 11) 藤根俊之, 吉田育弘, 杉野道幸: “画面の好ましい輝度とテレビ画面サイズの関係”, *信学論*, **J91-A**, 6, pp. 630-638 (2008)
- 12) 畑田豊彦, 坂田晴夫, 日下秀夫: “画面サイズによる方向感覚誘導効果”, *テレビ誌*, **33**, 5, pp. 407-413 (1979)
- 13) 成田長人, 金澤勝, 岡野文男: “超高精細・大画面映像の鑑賞に適した画面サイズと観視距離に関する考察”, *映情学誌*, **55**, 5, pp. 773-780 (2001)
- 14) 小林雄二, 小野石樹, 窪田悟, 岸本和之, 山根康邦, 五十嵐陽一, 芳賀秀一, 中枝武弘: “液晶テレビの好ましい視距離(2)-画面サイズと表示輝度の影響-”, 2008年映像情報メディア学会冬季大会, 2-5 (2008)
- 15) Rec. ITU-R BT.1128-2: “Subjective assessment of conventional television systems” (1997)
- 16) Rec. ITU-R BT.710-4: “Subjective assessment methods for image quality in high-definition television” (1998)
- 17) Kanazawa, M., Mitani, K., Hamasaki, K., Sugawara, M., Okano, F., Doi, K. and Seino, M.: “Ultrahigh-definition video system with 4000 scanning lines”, *International Broadcasting Convention, Conference Publication 2003*, pp. 321-329 (2003)
- 18) Nojiri, Y., Yamanoue, H., Hanazato, A. and Okano, F.: “Measurement of parallax distribution and its application to the analysis of visual comfort for stereoscopic HDTV”, *Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging, Proc. of SPIE*, **5006**, pp. 195-205

付・図 1 視差の分布が一様なステレオ画像における交差視差の場合 (左) と非交差視差の場合 (右) の視覚光学的な図

Figure for visual optics to stereoscopic image: cross (left) and uncross (right) disparities.

鈴木 紀子 1994 年, 横浜国立大学工学部電子情報工学科修了. 同年, (株) 国際電気通信基礎技術研究所 (ATR) 入社. 2003 年, 名古屋大学大学院人間情報科学研究科修了 (社会人入学). 2006–2011 年, (独) 情報通信研究機構 (NICT) 出向. 2011 年より, NICT ユニバーサルコミュニケーション研究センター専攻研究員. 人の行動特性や視覚情報処理に関する研究に従事. 博士 (学術).

矢野 澄男 1977 年, 電気通信大学応用電子工学科卒業. 同年, NHK 入局, 奈良放送局技術部を経て, 1981 年放送総合技術研究所. 1992–1995 年, ATR 人間情報通信研究所, 2002–2004 年, ATR 人間情報科学研究所, 2007–2010 年, 情報通信研究機構出向, 2010 年復職. 現在, 同所テレビ方式研究部主任研究員. 視覚情報処理, 放送方式の研究に従事. 工博. 正会員.

- (2003)
- 19) Yano, S., Emoto, M. and Mitsuhashi, T.: “Two factors in visual fatigue caused by stereoscopic HDTV images”, *Displays*, **25**, pp. 141–150 (2004)
 - 20) Kooi, F.L. and Toet, A.: “Visual comfort of binocular and 3D displays”, *Displays*, **25**, pp. 99–108 (2004)
 - 21) 産業総合技術研究所 (AIST) 人体寸法データベース 1991–1992 (<http://riodb.ibase.aist.go.jp/dhbodydb/91-92/>)
 - 22) 森田寿哉, 比留間伸行, 三橋哲雄, 元本紀雄.: “両眼融合式立体画像における大きさの知覚と輻輳運動”, *テレビ誌*, **50**, 9, pp. 1300–1310 (1996)
 - 23) 山田光穂, 福田忠彦: “視線の動きを用いたテレビ画像の分析”, *テレビ誌*, **40**, 2, pp. 121–128 (1986)
 - 24) Hakkinen, J., Kawai, T., Takatolo, J., Mitsuya, R. and Nyman, G.: “What do people look at when they watch stereoscopic movies?”, *IS&TSPIE, international symposium on electronic imaging: science and technology. Stereoscopic displays & applications XXI, Proc. of SPIE*, **7524-13** (2010)
 - 25) 山田光穂, 福田忠彦: “画像における注視点の定義と画像分析への応用”, *信学論*, **J69-D**, 9, pp. 1335–1342 (1986)

〈付 録〉

視差の分布が一様なステレオ画像における交差視差・非交差視差の場合と画面の奥行き関係について視覚光学をもとに説明したものを付・図 1 に示す.