

## 見えの大きさに従った画像再生法 — 近接した二つの球の画像 —

梶谷 哲也<sup>†‡</sup> 太田 理<sup>†</sup>

<sup>†</sup>創価大学大学院 〒192-8577 東京都八王子市丹木町 1-236

<sup>‡</sup>文化女子大学 〒151-8523 東京都渋谷区代々木 3-22-1

E-mail: <sup>‡</sup> [kajitani@bunka-wu.ac.jp](mailto:kajitani@bunka-wu.ac.jp), <sup>†</sup> [ohta@t.soka.ac.jp](mailto:ohta@t.soka.ac.jp)

あらまし 従来の幾何光学的な大きさに従った画像再生法に対して、人の見えの大きさに従った画像の再生法を提案する。そのために、近接領域における球の見えの大きさに関する傾向を定量化した。その結果、球の見えの大きさは幾何光学的な大きさとは有意に異なることを見出した。また、球の見えの大きさと実空間における球の幾何光学的な大きさとの差の量から、幾何光学的な大きさから見えの大きさへの変換関数を提案する。さらに、被験者ごとに定めた変換関数に従って再生した画像の評価を行った。その結果、既存のCGよりは被験者が見たと感じる画像に近いことがわかった。

キーワード CG, 見えの大きさ, 見えの大きさへの変換関数, 画像再生法, MPEG-4

## A Method of Image Reproducing Based on Apparent Size — A image of two spheres in close proximity —

Tetsuya KAJITANI<sup>†‡</sup> Tadasi OHTA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Engineering, Soka University, 1-236 Tangi-cho, Hachioji-shi, Tokyo, 192-8577, Japan

<sup>‡</sup> Department of Living Arts, Bunka University, 3-22-1 Yoyogi, Shibuya-ku, Tokyo, 151-8523, Japan

E-mail: <sup>‡</sup> [kajitani@bunka-wu.ac.jp](mailto:kajitani@bunka-wu.ac.jp), <sup>†</sup> [ohta@t.soka.ac.jp](mailto:ohta@t.soka.ac.jp)

**Abstract** This paper proposes a method of reproducing images based on their apparent sizes. The apparent size of spheres in close proximity to each other is first determined. From this determination, it becomes clear that the relative apparent sizes of objects are significantly different from photo-realistic sizes. A subjective resizing function is proposed based on the difference between photo-realistic sphere sizes and apparent sphere sizes of objects. A reproduced computer graphics image using the subjective resizing function adjusted to each individual is verified by an evaluation experiment. It was confirmed that resized images look more natural to each subject than ordinary photo-realistic images. Further studies of the subjective resizing function need to be carried out in order to better understand individual perceptions of apparent sizes.

**Keywords** Computer Graphic Image, Apparent Size, Subjective Resizing Function, A Method of Image Reproducing, MPEG-4

### 1. はじめに

人が見たと感じる大きさ（見かけの大きさまたは見えの大きさと言う）は、必ずしも幾何光学的な大きさではないことが指摘されている [1,2]。例えば、講義をしている時など、一番前の学生に比べて一番後ろの学生は小さく見える。ただし、その見えの大きさの差は網膜像（写真像）の差に比べれば小さい。同時に、一番前の学生と二番目の学生の見えの大きさの差は、それぞれの学生が教卓（視点）から異なる場所（奥行き）に着席しているのに、その見えの大

きさの差を意識することは経験的にない。同様に、一番後ろの学生とそのひとつ前の学生の見えの大きさの差を感じることもない。従って、視距離が近接した領域（以下、近接領域と言う）にある2つの同じ物体の見えの大きさは、実際の大きさとは異なる（実際よりも大きく見える）と考えることができる。

以上から、MPEG-4 システム [3] などに見られるように、デジタル情報として与えられる三次元空間情報をその標準的な再生方式である幾何光学的手法（例えば、単点透視投影法）に従って再生するだけでは、観察者にとって十分な

再生画像としての品質が確保できないことが考えられる。このため、本論文では、見えの大きさに従った画像の再生法を提案する。

そのために、近接した球の幾何光学的な大きさと見えの大きさとの比を求める。次に、2つの球の相対的な位置(相対的な距離)を引数として、幾何光学的な大きさから見えの大きさを求める「変換関数」を求め、変換関数に基づいた画像の再生法を提案する。さらに、被験者毎の変換関数に基づいて再生した画像と、従来の幾何光学的手法で再生した画像とを被験者に評価してもらった。その結果、変換関数に基づいて再生した画像の方がより自然な画像であるとの評価を得た。このことから、提案した画像再生法が妥当であることの見通しを得た。

2節では、近接した球の幾何光学的な大きさと見えの大きさとの比を求める。3節では、2つの球の相対的な位置(相対的な距離)を引数として、幾何光学的な大きさから見えの大きさを求める「変換関数」に基づいた画像の再生法を提案する。4節では、被験者毎の変換関数に基づいて再生した画像に基づいて提案手法の評価を行う。

## 2. 幾何光学的な大きさと見えの大きさとの比

2つの同じ大きさの球を、奥行きを違えて置いたとき、人が見えたと感じる大きさは、1節で述べた理由から、幾何光学的な大きさと異なる大きさであるとの仮説を考える。

そこで対象を球に限定して、それらが近接している時の見えの大きさを定量的に測定し、仮説の正しさを証明する。

### 実験1：近傍領域におけるみえの大きさ

**目的：**対象を同じ大きさの球として、それらの近接領域における相対的な見えの大きさを測定し仮説を実証する。

**被験者：**健康に視力を持つ10人の男女(22~26歳)。

**方法：**観察者の視点を、あご台を用いて固定し、その1m先に無彩色(グレー)に塗装した球(直径 $\phi=5.6$ cm)を置き標準刺激(参照球)とする(図1)。次に、図2のような合計20点の測定点のうち、試行毎にランダムに選択して同じ大きさの球(ターゲット球)を置き、図1のように視点から45度、60cmの位置にあるCG(Computer Graphics Image, 図3)を用いて観察者の主観に従って再現させ、2つの球の相対的な見えの大きさの差を測定する。以上の測定を同一被験者に3回繰り返す、それらの結果を加算平均して観察者の測定値とする。

**結果：**図4は測定点ごとの全被験者の見えの大きさの平均値、およびその標準偏差である。縦軸は(ターゲット球よりも手前にある)参照球の見えの大きさを100としたときのターゲット球のみえの大きさを表す。白丸はそれぞ

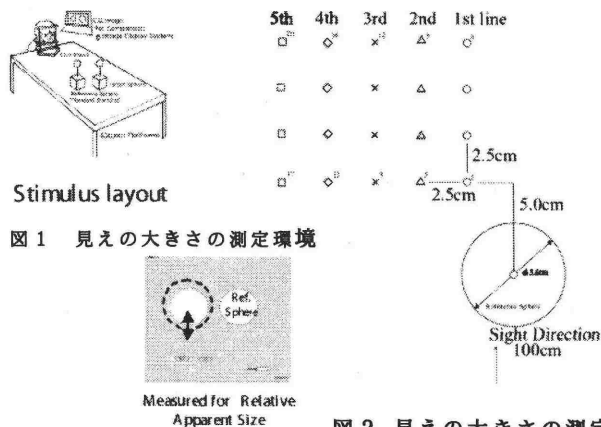


図1 見えの大きさの測定環境

### 図3 見えの大きさの定量化に用いるCGソフトウェア

この測定点におけるターゲット球の視点に対する幾何光学的な大きさを表す。

全ての測定点で、ターゲット球の見えの大きさはそれらの幾何光学的な大きさとは有意( $t$ 検定両側,  $df=9, p<0.01$ )に異なっていた。さらに、測定点5,6以外では、参照球の見えの大きさとその後ろにあるターゲット球の見えの大きさには有意な差が無かった( $t$ 検定両側,  $df=9, p>0.05$ )。一方、測定点5,6において、ターゲット球の見えの大きさはその手前にある参照球の見えの大きさよりも有意( $t$ 検定両側,  $df=9, p<0.01$ )に大きく見える過大視が起きていた。

**考察：**2つの球(参照球とターゲット球)の見えの大きさは、全ての測定点でそれらの幾何光学的な大きさとは異なる。その一方で、一部の測定点を除き、参照球とターゲット球の見えの大きさには差がない。ただし測定点5,6において、視点に対して手前にある参照球よりも、その奥にある同じ大きさのターゲット球の方が大きく見える傾向がある。

以上の結果から、「2つの同じ物体の見えの大きさは、それらの視距離の差が小さい範囲内では、実空間における幾何光学的な大きさとは異なる(大きく見えることがある)」ことが実証できた。

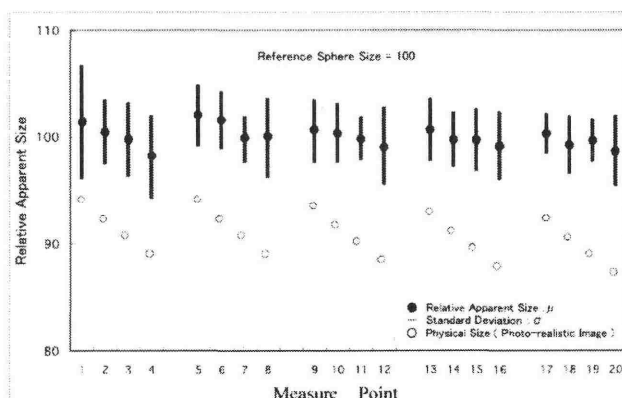


図4 参照球を基準の大きさとした見えの大きさ

### 3. 画像の再生法の提案

同じ大きさの球は、それらの相対的な位置関係によらず、見えの大きさが同じ傾向にある可能性を見出した。そこで、以下のような見えの大きさに従った画像の再生法を提案する。本提案手法は MPEG4 システムなどでみられるような、与えられた三次元空間情報の標準的な再生法の一つである幾何光学的手法に従って再生される画像とは異なり、人の見えの大きさに従った画像として再生するものである。

まず、2節で求めた見えの大きさと幾何光学の大きさとの比について、2つの球の相対的な位置を変数とする、見えの大きさと幾何光学の大きさとの比を表す関数「見えの大きさへの変換関数」を求める。

#### 3-1. 見えの大きさと幾何光学の大きさとの差

2つの球の、見えの大きさ ( $\alpha$ ) と幾何光学の大きさ ( $\gamma$ ) の差を幾何光学の大きさで割った値 ( $s$ ) を幾何光学の大きさとの比と定義する。  $s$  は(1)式で与えられる。

$$s = \frac{(\alpha - \gamma)}{r} \quad (1)$$

それぞれの測定点における  $s$  の値を図 5 に示す。各測定点における円の大きさは、  $s$  の大きさの程度を表し、円の大きさが大きければ  $s$  が大きいことを表している。

ここで、(1)式による大きさの比は、図 5 のように奥行き距離が増えるほどその値が大きくなる傾向から、相対的な奥行き距離に比例する量と考えることができる。つまり、対象の見えの大きさは奥行き距離が変化しても基本的には変化しないことを意味する。ただし、実験 1 の測定結果から、図 7 のように大きさの比は奥行き距離に比例すると仮定した場合、その比例の程度は被験者毎に異なる傾向を持つ。この被験者毎の差を大きさの恒常度の差とし、その程度を表す係数を大きさの恒常度係数 (coefficient of size constancy) とする。

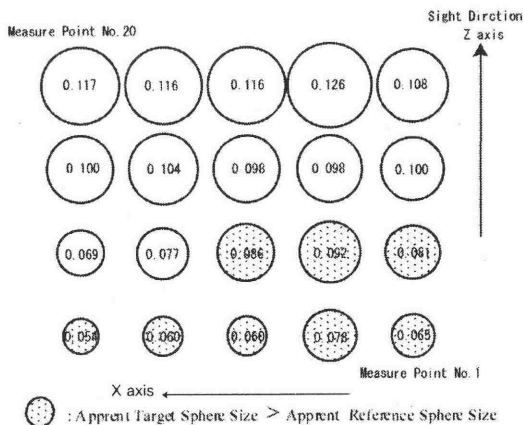


図 5 各測定点における幾何光学の大きさとの比

#### 3-2. 見えの大きさへの変換関数

見えの大きさに従った画像 (人が見たと感じる図) を以下の手順により再生 (生成) する。

まず、与えられた三次元空間情報を幾何光学に従った大きさで再生する。次に、(1)式を用いて見えの大きさに従った画像へ変換する。従って、見えの大きさまで対象の大きさを変換するために必要となる、大きさの比 ( $\phi$ ) は、対象同士の相対的な位置関係を図 6 のように規定すれば、(2)式となる。

$$\phi = \lambda z \quad (2)$$

なお、 $\phi$  は幾何光学の大きさの比 (skew ratio) ．なお、 $\lambda$  は大きさの恒常度係数。  $z$  は参照球の中心座標を原点とする奥行き距離 ( $z >= 0$ ) 。

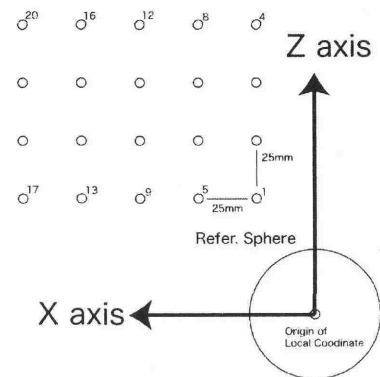


図 6 参照球の中心座標を原点とする局所座標

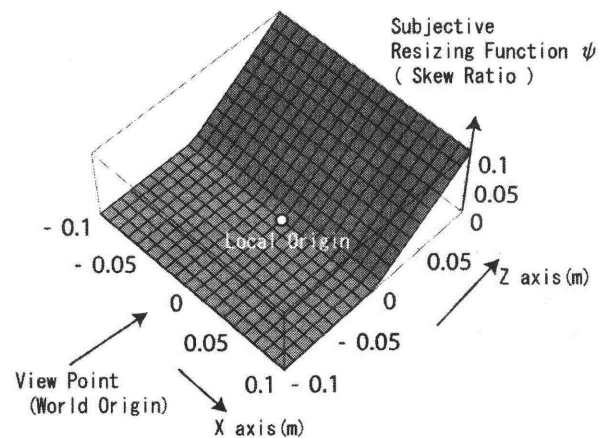


図 7 見えの大きさへの変換関数 ( $\lambda = 1.03, R^2 = 0.89$ )

(1)式の見えの大きさへの変換関数の大きさの恒常度係数である  $\lambda$  を、10人の被験者の平均的な見えの大きさに基づき最小二乗法によって決定し ( $\lambda = 1.03$ )、測定値の近似を行った結果、十分 (決定係数  $R^2 = 0.89$ ) な近似結果を得ることができた (図 8)。

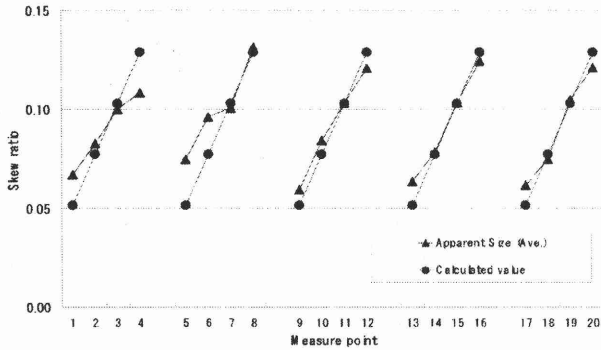


図8 測定された歪み率と見えの大きさへの変換関数による近似 ( $\lambda = 1.03$ ,  $R^2 = 0.89$ )

#### 4. 提案手法の評価

2つの同じ大きさの球を、奥行きを違えて置いたとき、人が見えたと感じる大きさは幾何光学的な大きさとは異なることが実証できた。ただし、それは被験者10人の平均的な見えの大きさに従ったものである。ところが、10人の被験者を個別に検討すると、10人の内2人の被験者は、(2)式の近似式とは異なる見えの大きさを球を見ていることが分かった。そこで、被験者ごとの見えの大きさに基づいた画像の再生法を個別評価する。

そのために、実空間にある2つの球を基準として、被験者個人の見えの大きさに従った変換関数で生成した画像を、被験者自らが主観に従って調整した値を測定する。この調整値を用いて、観察者個人々々にとって既存のCGよりは観察者個人が見たと感じる画像により近いことを検証する。

##### 実験2：観察者ごとの見えの大きさに従った画像の生成および評価

目的：被験者個人の見えの大きさに従った見えの大きさへの変換関数で再生画像が、観察者個人々々にとって既存のCGよりは観察者個人が見たと感じる図に近いことを検証する。

被験者：健常な視力を持つ男女5人（23歳～56歳）。  
但し、1節の実験1の被験者とは全て異なる。

方法：1). 被験者個人の見えの大きさを実験1と同じ方法で三回測定しそれらの平均値を測定値とする。

2). その測定値から最小二乗法を用いて、(2)式の大きさの恒常度係数を決定する。

以上は、被験者が実験1と異なるために行う。

3). 各被験者毎の見えの大きさへの変換関数を用いて、ターゲット球が測定点5,10,15,および20にある時の画像を生成する。

4). 図1のような画像提示環境において、被験者の主観に従って、実空間にある2つの球を基準として、コンピュー

タ画面上に表示された二つの球のうちターゲット球（左側）の球の大きさを被験者自らが調整する。

5). 測定点の位置を試行ごとにランダムに選んで、4.の画像上の大きさの調整を、同一被験者に合計3回繰り返す。

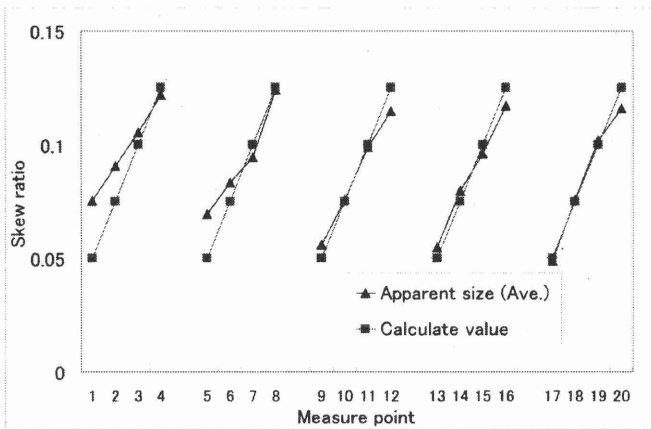
結果：表1のような結果を得た。表1の決定係数  $R^2$  値によれば、一人の被験者以外は本提案方式で良好な近似ができた。ここで、被験者のうちで代表的な特性を持つと考えられる、3人（被験者3, 4, 5）の見えの大きさの測定値と見えの大きさへの変換関数を用いた近似結果（図9(a)）および近似関数から生成した画像と被験者による調整値（図9(b)）を示す。まず、5人の被験者のうち3人は球の大きさを同じか、やや小さく見ていた。さらに、二つの球が重なる、ないしは非常に近い位置にある時に、手前にある参照球より奥のターゲット球の大きさが大きく見える（過大視をしている）被験者が一人いた(図9-1(a),(b))。なお、このような傾向は実験1の測定では10人中4人に同じ現象が起こっていた。一方で、球の大きさを幾何光学的な大きさよりも小さく見ている被験者が一人いた（図9-3(a),(b)）。この結果から、人は必ずしもCGより大きく球を見ている訳ではないことが分かった。なお、被験者2は全体的に変換関数の変換量よりも小さくCGを調整しており、特に、測定点20の大きさを有意（t検定両側,  $df=2$ ,  $p < 0.05$ ）に小さく見る傾向があった(表1)。一方、被験者4は、逆に、全体的に変換関数の変換量よりも大きくCGを調整していた。特に、測定点10の位置で有意（t検定両側,  $df=2$ ,  $p < 0.05$ ）に大きく調整していた（図9-2(a),(b), 表1）。

表1 実験2：被験者別の実験結果

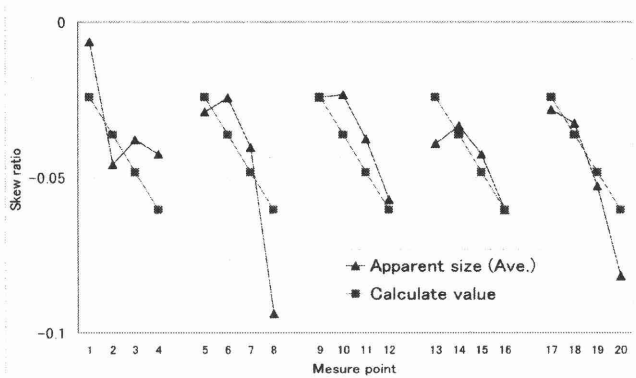
	Subjective resizing func.		Significantly difference from resizing value			
	$\lambda$	$R^2$	Point No.5	Point No.10	Point No.15	Point No.20
Sub. No.1	0.75	0.87				
Sub. No.2	0.62	0.82				*
Sub. No.3	-0.48	0.53				
Sub. No.4	0.53	0.28		*		
Sub. No.5	1.00	0.91				

\*:  $p < 0.05$

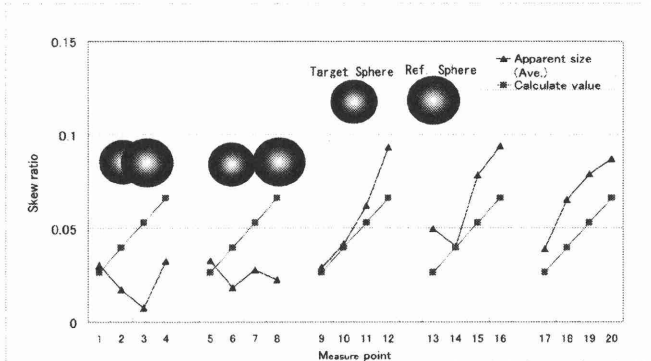
考察：一部の測定点を除き、見えの大きさへの変換関数によって変換された量と、被験者自らの主観に従って調整した量とは有意な差がなかったことから、少なくとも既存のCGよりは観察者にとって見たと感じる図により近い画像となっていると評価できる。ただし、図9-1(a),-3(a)からも分かるように、映像として2つの球が重なって見える時、または、非常に近くに見える時に、被験者によってはそれらの見えの大きさがそのほかの画像である場合とは異なっている。特に被験者4（図9-1(a)）は、球が重なった時、または近接している時には過大視が起こりやすく、測定点によっては手前にある参照球よりも大きく見ている。必然的



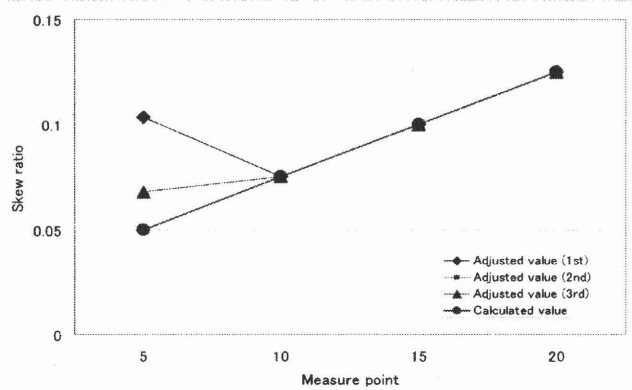
9-1(a) 被験者5の歪み率と見えの大きさへの変換関数による近似結果 ( $R^2=0.91$ )



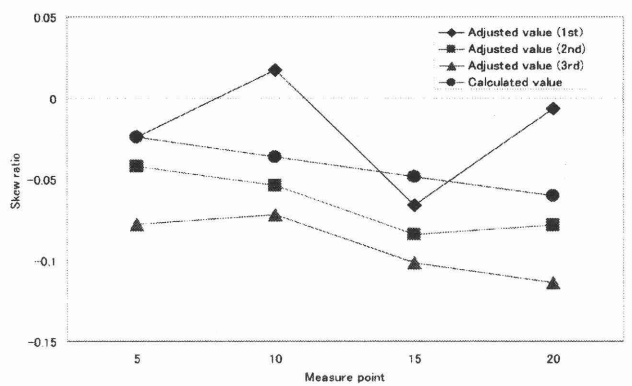
9-2(a) 被験者3の場合 ( $R^2=0.53$ )



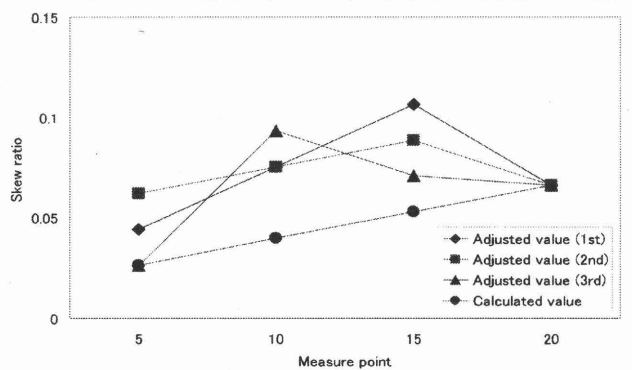
9-3(a) 被験者4の場合 ( $R^2=0.28$ )  
(図中の球は視点に対する球の見え方)



9-1(b) 見えの大きさへの変換関数による変換量と被験者5の調整値 (試行回数: 3回)



9-2(b) 被験者3の場合



9-3(b) 被験者4の場合

図9 歪み率と見えの大きさへの変換関数による近似結果(a)  
および見えの大きさへの変換関数による変換量と各被験者の調整値(b)

な結果として、その被験者は球が重なって見える測定点5で、球の大きさを大きく調整している。一方、逆に被験者4(図9-3(a))は、球が重なっている時、または近接している時には、測定される見えの大きさは幾何光学的な大きさに近くなり、その他の部分では、二つの球の大きさをほぼ同じ大きさと判断している。このような、視点に対する球の見え方の差が、それら球の見えの大きさにも影響していると考えることができる。

今後、見えの大きさへの変換関数に、例えば(3)式のような、二つの球の見え方に従った見えの大きさの補正項を適切に追加することができれば、個人ごとの見えの大きさに従った画像の再生がより高い精度で可能になる。そこで、実験1の測定結果を視角( $\theta$ )に従って、相対的な見えの大きさを整理すると、図10のように二つの球が重なっている時または非常に近接している時(視野角が $2.0^\circ$ 前後に対応)に、過大視を含む相対的な見えの大きさが極大化する傾向があることが分かる。従って、見えの大きさへの変換関数(2式)に観察者の見えの大きさに適応するための、視角を主な引数とする補正項  $f(\theta)$  を追加する必要がある。なお、その補正項の詳細についてはさらに検討を行う必要がある。ここで、視野角とは図2のような状態で、視点と参照球および視点とターゲット球が作る角度をさす。

$$\varphi = \lambda z + f(\theta) \quad (3)$$

なお、 $\theta$ は視野角。その他の記号は(2)式と同じ。

## 5. まとめ

従来の幾何光学的な大きさに従った画像再生法に対して、人の見えの大きさに従った画像の再生法を提案した。そこでまず、人の近接領域における見えの大きさを定量的に測定した。そのために、実空間での対象を球に限定して標準刺激とし、同じ大きさの球の見えの大きさを定量的に測定した。その結果、球の見えの大きさは実空間における幾何光学的な大きさとは異なることを実証した。こ

のことは、2つの同じ物体の見えの大きさは、それらが近接している(視距離の差が小さい)範囲内では、実空間における幾何光学的な大きさと異なる(一般に大きく見える)ことを意味している。次に、球の見えの大きさと実空間における球の幾何光学的な大きさととの比から、球の位置を変数とした対象の大きさを見えの大きさへ変換する関数である「見えの大きさへの変換関数」を提案した。提案手法の評価として、被験者毎の見えの大きさへの変換関数を用いて再生した画像を被験者ごとに評価した。その結果、被験者にとって既存のCGよりは見たと感じる画像に近いことを確認した。

しかしながら、視点に対する球の位置関係によって、見えの大きさに差が生じる可能性があり、極端な場合には対象の球の大小関係が反転してしまう場合がある。今後の課題として、見えの大きさへの変換関数をより正確なものにする必要がある。より高い精度で見えの大きさの近似が可能となれば、対象の大小関係を正確に再現することが可能となる。

**謝辞:** 首都大学東京 都市教養学部 市原茂教授およびゼミ生の皆様には多大なご協力をいただきました。また、(株)メディア・アイ殿には、実験装置の製作にご協力いただきました。感謝いたします

## 参考文献

- [1] W.C. Gogel, "Equidistance tendency and its consequences," *Psychological Bulletin*, Civil Aeromedical Research Institute, Oklahoma City, 64, pp.153-163, September 1965.
- [2] T. Indow, The global structure of visual space - advanced series on mathematical psychology Vol.1-, World Scientific, 2004.
- [3] 亀山, 花村, 改訂版デジタル放送教科書上・下, インプレス, 2005.

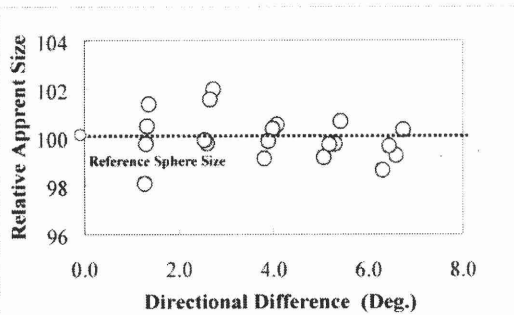


図10 視野角別の見えの大きさの分布  
(図中の'100'は参照球の大きさの相当)