

見かけの大きさに従った画像の再生法 —物体の提示位置が物体の大きさ知覚に及ぼす効果—

梶谷 哲也^{†‡} 太田 理[†][†]創価大学大学院 〒192-8577 東京都八王子市丹木町1-236[‡]文化女子大学 〒151-8523 東京都渋谷区代々木3-22-1E-mail: [‡] kajitani@bunka-wu.ac.jp, [†] ohta@t.soka.ac.jp**キーワード:** 近接領域, 透視図法, 大きさの恒常性, 見かけの大きさへの変換関数, 感性評価

あらまし 三次元空間を見かけの大きさに従った大きさで描画した画像は、従来の画像よりも違和感の少ない画像とできると考えられる。しかし近接した対象物の再生または描画に関する報告はほとんどなされていない。そこで、著者らはこれまで、見かけの大きさをあらかじめ規定した位置で測定し、その点における見かけの大きさに従った画像の再生法を提案した。本報告では、その結果の一般性を証明するために、任意の位置に置かれた近接する対象物の再生法として、見かけの大きさにもとづく近似関数を外挿・内挿補間する手法を提案する。次に、提案した再生法に従って生成した画像を被験者によって主観的に評価した。この結果、見かけの大きさを測定した奥行きまでの範囲で任意の位置におかれた対象の見かけの大きさを観察者に違和感を生じさせない範囲で再生できることを確認した。

A Method of Reproducing Images based on Apparent Size

—How display position affects size perception—

Tetsuya KAJITANI^{†‡} and Tadasu OHTA[†][†]Graduate School of Engineering, Soka University, 1-236 Tangi-cho, Hachioji-shi, Tokyo, 192-8577, Japan[‡]Department of Living Arts, Bunka Women's University, 3-22-1 Yoyogi, Shibuya-ku, Tokyo, 151-8523, JapanE-mail: [‡] kajitani@bunka-wu.ac.jp, [†] ohta@t.soka.ac.jp**Keywords:** neighboring space, perspective, size constancy, mapping function to apparent size, sensory evaluation

Abstract When computer graphic images (CGI) are reproduced based on apparent object size, disparities between CGI and real space images are removed. We have proposed a method of reproducing perspective mapped object size to apparent size based on 3D object size information. Using this method, the mapping function is reproduced and evaluated only at apparent size measure points.

In this paper, in order to prove the universality of the method, perspectives were reproduced with the evaluated mapping function at non-measure points based on measured apparent size at the measure points. The CGI perspectives were then sensory evaluated by subjects at object size. It was found that the object size of the CGI was subjectively regarded as being the same as the object size of real space objects, with only one exception. As a result, we have found a fairly reliable method of reproducing perspectives based on the apparent size of objects in the neighboring space.

1. はじめに

単点透視投影変換法に従って3次元空間を透視投影変換すれば、写真像と同等の画像を得る事ができる。このため、単点透視投影変換法が多くの情報機器の表示装置に対する画像の再生法として採用されている。つまり、その投影変換法に従った画像（以下、透視図）上では、対象の大きさは幾何光学に従った大きさとなる。ところが、人は同じ大きさの対象が多少異なる距離にあっても大きさの差を意識することは無い。その結果、幾何光学に従った大きさである写真像や透視図に違和感を持つ事が少なくない。このような人間の視覚特性を「大きさの恒常性」と呼ぶ[1]。これまでに、人の生活に関係の深い数m付近の距離にある対象に関する画像の再生時に人間本来の特性である大きさの恒常性を十分に反映した大きさ（以下、見かけの大きさ）に従った画像を描画する有効な方法は提案されていない。

人が自然な状態で、両眼を用いて対象を観察した時の大きさ（見かけの大きさ）に関する報告が印東ら[2]によってなされている。このモデルに従えば人間にとって自然な画像を生成することが出来ると思われる。ところが、これらの報告は、視点から数km以上の位置にある対象の大きさを問題としており、人の生活に関係の深い数m付近の距離にある対象に関しては考慮されていない。そこで我々は、球の見かけの大きさを測定し、その大きさに従って、3DのComputer Graphic Image（以下3DCG）を作成（再生）すれば、実空間の球の大きさと有意な違和感が生じないことを確認した[3]。

本稿では、これまでは見かけの大きさをあらかじめ規定した位置で測定し、その点における見かけの大きさに従った画像の生成および評価を行ってきた結果の一般性を証明するために、任意の位置における対象物を見かけの大きさを見かけの大きさに従って画像を生成する方式の提案を行う。さらに、その方式に従って生成した画像を被験者によって主観的に評価する。そこでまず、球の見かけの大きさに関する近似精度を、視点からの横の距離に応じて恒常性の程度を表す恒常度が変化することを考慮することによって向上させる。そのために、従来は奥行き距離に対して同一であった近似関数の傾きを、横（X軸）方向の距離ごとに個別に決定した。次に、新たな位置における見かけの大きさを、2つの球の位置や奥行き情報を含む3DのCG（以下、3DCG）を用いて測定した。さらに、その結果を用いて、見かけの大きさへの変換関数の外挿および内挿補間方式を決定した。そして、見かけの大きさを補間関数によって予測した位置において、球の見かけの大きさをその点における実測値と比較して予測精度を検討した。最後に、補間した変換関数の予測値にもとづく3DCGを被験者に提示し、主観的な違和感に与える効果を評価した。

以上から、あらかじめ規定した位置において測定された見かけの大きさにもとづく近似関数を、内挿・外挿補間することによって、見かけの大きさを測定した奥行きまでの範囲で観察者にとって違和感の生じない精度で近接領域の任意の位置における見かけの大きさを予測しうることを確認した。

2. 見かけの大きさの測定 (実験1)

人の恒常性の程度は比較的高いと予想されるため、視点から1m付近にある対象の見かけの大きさは、その幾何光学的な大きさとは異なることが予想される。

目的: 見かけの大きさを定量化するために、視点から1m付近に設置した無彩色(灰色)の球の見かけの大きさを以下の手順で測定する。

被験者: 健康な視力を有する20から29歳までの男女10人。

繰り返し数: 4回。

方法: 被験者は、あご代を使って視点を固定する。その状態で、視点から1mの位置に固定された無彩色の直径5.6cmの球(以下:参照球)と、試行ごとにランダムに選択された位置(20点中の1点)に置かれた参照球と同じ大きさのターゲット球の大きさを観察する。次に、被験者の左側45°, 60cmの位置にあるコンピュータ画面(図2)上の、ターゲット球に対応する左側の円の大きさを自ら調整して、球の見かけの大きさをコンピュータ画面上に二つの円の大きさの比として再現する(調整法である移調法の変法[1])。なお被験者には、大きさの調整に自らの違和感がなくなるまで十分な時間をかけることを許した。

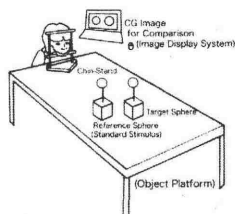


図1 実験環境

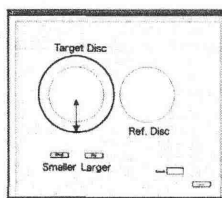


図2 円を用いた測定用CG (2DCG)

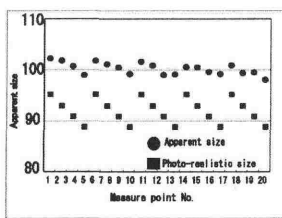
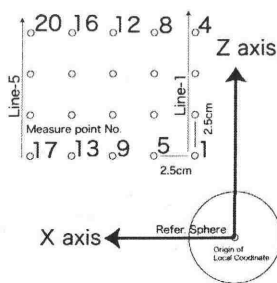


図3 見かけの大きさの測定位置 図4 各測定点における球の見かけの大きさと幾何光学的大きさ

結果: 図4にあるように、全ての測定点において測定された見かけの大きさは幾何光学的な大きさとは有意に異なる(t検定, $df=39$, $p<0.01$) 大きさであった。ここで、図4の横軸は図3の測定点を表し、縦軸は参照球の大きさを100としたときのターゲット球の見かけの大きさと幾何光学的大きさ。

考察: 各測定点の見かけの大きさが幾何光学的な大きさと有意に異なったのは、大きさの恒常性が作用したためだと思われる。

2.1. 見かけの大きさへの変換関数

これまでに、視点から5mまでの範囲では、幾何学的な大きさと見かけの大きさとの比は距離に関係ない場合があることを見出した[4]。そのため、定量化した見かけの大きさを視点からの距離に関係のない比率(以下:歪率, Skew Ratio)として式(1)のように表すこととする。

$$sr = \frac{(S-R)}{R} \quad (1)$$

なお, sr は歪率. また, S は対象の見かけの大きさ. また, R は観察者の視点に対する対象の幾何光学的な大きさを表す. 次に, 見かけの大きさへの変換関数(mapping function)として, 視点から同じ横の距離(図3中の x 方向の距離)で, 奥行きだけが異なる点(例えば図3, 点{1, 2, 3, 4}など)の歪率を, 参照球の中心点の座標を原点として, それぞれの奥行き距離に従って, 最小二乗法によって直線近似する. ただし二つの球(参照球, およびターゲット球)は並べて見ると見かけの大きさは必ず一致することから, 変換関数の切片は0とした(式(2)).

$$\psi(z)=a(x)z$$

$$\begin{aligned} \text{ex. } a(0.25) &= 1.06, a(0.50) = 1.04, a(0.75) = 0.98, \\ a(1.00) &= 0.97, a(1.25) = 0.90 \end{aligned}$$

(2)

ただし, 関数 a は, 視点から横方向の距離である. x を引数として直線の異なる傾き(恒常度)を定める関数である. 関数の原点は参照球の中心点である。

ここで, 各被験者の X 軸方向の距離ごとに異なる変換関数の傾きと各被験者との一要因の対応のある場合の分散分析結果から, X 軸方向の距離に対して変換関数の傾きは有意(F 検定, $df=4/156$, $P<0.05$)に異なることが分かった. さらに, テューキーのHSD検定による多重比較の結果, 参照球にもっとも近いLine-1の直線関数の傾きと, もっとも遠いLine-5の直線関数の傾きとが有意に異なっていた。

文献[3]では, 恒常度が空間全体で同じであると仮定したために, 変換関数の近似精度が R^2 値で0.23まで低下した例があった. その主な原因は, 視点からの横の距離に対して大きく異なる恒常度の特性を持つ被験者を考慮していない点に問題があった. そこで, その問題を解決するために, 上述のように, それぞれの距離に従って個別に傾きを決定した結果, 前述のような極端な近似精度の低下は認められず, その近似精度の平均は R^2 値にして0.75以上となった. ただし, 被験者ごと X の値ごとでは, R^2 値で0.40まで近似精度が低下する場合もあった. 一方, Line-1と2における直線関数の傾きの算術平均値を母平均と仮定して, 残りLine-3, 4, 5の傾きの値で, 母平均の検定を行った結果, 有意な差(t検定, $df=2$, $p<0.01$)が認められた被験者が6名, 認められなかったものが4名だった. 以上から, 近接領域における恒常度は横方向の距離に対して異なる場合があり, 見かけの大きさへの変換関数として, 歪率の近似精度を向上させるために, X の値に従って直線の傾きを別々に考慮する有効性を検証できたと考えられる。

3. 3DCGを用いた見かけの大きさの測定 (実験2)

球の見かけの大きさが, その提示位置によってどのように変化するかを吟味するために, 見かけの大きさの測定を行う. ただし, 実験1とは異なる位置での測定であること, また, 見かけの大きさを写し取る(移調する)コンピュータ画面上のCGが, 2つの球の位置や奥行き情報を含む3DCG(図5)である点異なる。

さらに, この測定実験の結果と, 実験1による見かけの大きさへの変換関数を基にした予測値とを比較することで, 見かけの大きさへの変換関数の予測精度を吟味する。

目的: 球の見かけの大きさが, その提示位置によってどのように変化するかを吟味するために, 球の見かけの大きさを, 3DCGを用いて測定する。

被験者: 実験1と同一の被験者10人。

繰り返し数: 4回。

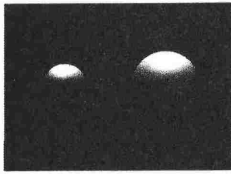
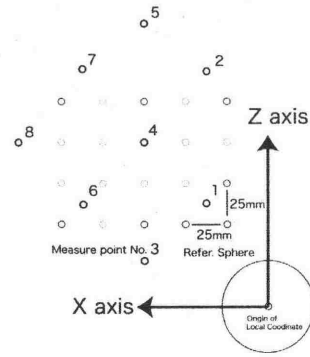


図5 コンピュータ画面上に提示された3DCGの例 図6 見かけの大きさの測定点



方法：実験手順は実験1と同一である。ただし、球の見かけの大きさを定量化するために3DCG(図5)を使用し、対象の球の大きさだけでなく位置情報を含むレンダリング処理を施した画像で大きさを再現(定量化)する。

まず、被験者は、あご台で視点を固定し、実空間で参照球と試行毎にランダムに選択される位置にあるターゲット球の大きさを、被験者の左側45°、60cmの位置にあるコンピュータ画面上のターゲット球の大きさを自ら調整することによって定量化する。以上の試行を4回繰り返して、図6にある8点の測定点の見かけの大きさ測定した。

結果：実験1と同様に、幾何光学的な大きさとは有意(t検定, $df=39$, $p<0.01$)に異なる大きさが測定された(図7)。ここで、図7は図4の同様に、横軸は測定点を表し、縦軸は参照球の大きさを100としたときのターゲット球の見かけの大きさと幾何光学的大きさである。

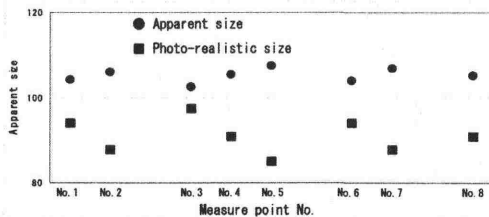


図7 各測定点における測定された見かけの大きさと幾何光学的な大きさ

考察：見かけの大きさを定量化するために使用する画像が、二つの球の位置関係を固定した2つの円であっても、位置関係が考慮されたレンダリング済みの画像であっても、見かけの大きさは幾何光学的な大きさとは異なることが明らかになった。

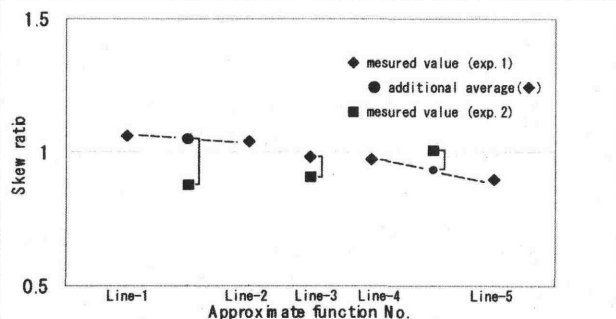


図8 2DCGと3DCGを用いた測定結果による近似直線の傾きと補間値

4. 見かけの大きさへの変換関数の補間

実験2では、実験1とは異なる位置における見かけの大きさを、2つの球の位置や奥行き情報を持つ3DCGを用いて定量化した。それらの値を参照球の中心座標を原点として、直線近似を行った結果のX軸方向の距離別の傾きは、2つの球の大きさを円で描画した2DCGによる値と図8のような関係となった。

ここで、2DCGで測定した結果による傾きの加算平均値と、3DCGによって測定した結果による傾きには有意な差がなかった(母平均の検定: t検定, $df=19$, $P>0.05$)。また、2. -1節で横方向の距離によって直線の傾きが異なる事が明らかになった。

そこで、2DCGを用いた測定値から生成した見えの大きさへの変換関数の内挿方式: a_{in} (図9-a, 式(3))とした。

なお、本報告では、図6のように、補間点の距離が2つの隣接した直線の間中点であったため、式(3)を式(4)として近似を行った。

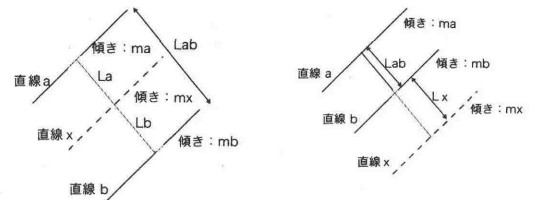


図9-a 見かけの大きさの変換関数の内挿補間方式 図9-b 見かけの大きさの変換関数の外挿補間方式

$$m_x = a_{in}(x) = \frac{L_b}{(L_a + L_b)} m_a + \frac{L_a}{(L_a + L_b)} m_b \quad (3)$$

$$= \frac{1}{L_{ab}} (L_b m_a + L_a m_b)$$

$$m_x = a_{in}(x) = \frac{1}{2} (m_a + m_b) \quad (4)$$

一方、外挿方式: a_{ex} は図9-b, 式(5)のように、直近の2つの直線の傾きをX軸方向へ外挿する方式とした。

$$m_x = a_{ex}(x) = m_b - \frac{(m_a - m_b)}{L_{ab}} L_x \quad (5)$$

以上の内・外挿方式を用いた見かけの大きさへの変換関数を用いて、被験者ごとに測定された見かけの大きさと予測した球の大きさとを比較した結果、表1に示したように、一部に有意な差がある点があることが明らかになった。

特に、視点からの距離に関して、関数を外挿補間して予測した値(表1中では、No. {2, 5, 7})は、全て実測値よりも大きい値となっていた。このような差が生じる原因として、被験者の視覚特性のうち、奥行き距離に対して直線的な傾向を持たない場合は、視点からの距離が大きくなるにつれて予測値と実測値の差を拡大させる原因となっていると思われる。

表1 見かけの大きさへの変換関数を補間して予測した値と実測値の差異

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
Subject 1	**				**			
Subject 2			**				**	
Subject 3					**			
Subject 4		**					**	
Subject 5		**						**
Subject 6								
Subject 7								
Subject 8		**						
Subject 9								
Subject 10		**			**			

** p<0.01

5. 見かけの大きさの予測値に従った再生画像の評価 (実験3)

表1では、被験者により予測値と実測値の間に有意な差がある条件が多く見られた。しかしその差は、はたして被験者に「違和感」をいだかせるほどの差であるのかを確認するために、見えの大きさへの変換関数を本提案手法によって補間した関数の予測値に基づいた3DCGを被験者に評価させた。

目的：本提案方式の予測値と実測値の差の量が統計的に有意な差があっても、人間の知覚特性で主観的に評価した場合、明確な違和感を生じさせることがあるかないかを検証する。

被験者：実験1,2と同一の男女10人。

繰り返し数：1回。

方法：実験1と同様に、被験者はあご台で視点を固定し、試行毎に8点の内1点をランダムに選択された位置に置かれた球を観察する(図1)。次に、被験者ごとに調整した見かけの大きさへの変換関数を補間することによって作成した3DCGを、被験者の左側45°、60cmの位置にあるコンピュータ画面上に提示する(例えば図5)。

次に、実空間における2つの球の大きさを基準として、コンピュータ画面上の3DCGを評価する。ここで、提示された3DCG上の球の大きさに、被験者が画像に「違和感」を感じた場合、被験者自らがCG上のターゲット球に対応する球の大きさを、違和感がなくなるまで調整するように指示した。

結果：表2のように、被験者10人の評価結果として提示画像に違和感を感じたのは一点(測定点No.5)のみであった。

表2 球の見かけの大きさと3DCGとの大きさとの差

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
Difference between measured and estimated object size					**			

** p<0.01

考察：表2のNo.5における調整量は、全ての被験者が球の大きさを小さくしていることから、見えの大きさへの変換関数は、距離に対して外挿補間した場合に実測された主観量よりも大きな値となる傾向が認められる。

一方、全体的な傾向としてXの値によって異なる傾きで歪率を補間する方式に関しては、変換関数による予測値と実測値が統計的には有意に異なる値であって

も、被験者の主観的評価によれば正しい方法であると考えることが出来ることが分かった。ただし、近似した関数の奥行き距離(Z軸方向)の外挿補間を用いた予測値は、実測値よりも大きい値となる傾向が認められ、主観的にも同様の傾向が認められた。

6. 考察および今後の課題

文献[3]で課題となった、測定された見かけの大きさの近似精度を向上させるために、視点からの横の距離に応じて恒常度が変化することを考慮した結果、見かけの大きさへの変換関数を視点からの距離ごとに異なる傾きの関数を提案し、その効果を検証した。次にその近似関数を用いて、任意の位置における見かけの大きさを、測定した見かけの大きさに基づいた近似関数を内挿・外挿して予測する手法を実験2の測定結果をもとに決定した。ただし、実験2のようにコンピュータ画面上の極端に大きい(または小さい)球の大きさを被験者が調整することによって得られた見かけの大きさと、実験1の測定結果にもとづく見かけの大きさへの変換関数を4節の方法によって補間することで予測した大きさには、表1にあるように有意に差のある場所が多く見られた。一方、実空間上の球の大きさを基準として、見かけの大きさへの変換関数を補間することで予測した大きさに従って生成した3DCGをコンピュータ画面上に提示し、被験者に「違和感」をいだかせるほどの差があるのか、ないのかを調べた結果、表2のように視点から最も遠い点(図8, No.5)以外では有意な違和感をいだかせることは無かった。

これは、本提案方式の予測値と実測値の差の量が統計的に有意な差があっても、人間の知覚特性で主観的に評価した場合、明確な違和感を生じさせることのない許容範囲(閾値)内であったと思われる。ただし、表2にあるように、視距離の大きい位置の対象の大きさの変換関数を外挿した予測値には、主観評価でも有意な差(すなわち違和感)が生じる問題が残った。本手法の奥行き方向の適用限界は、見えの大きさを測定した点までとなっている。

今後は、近似関数を外挿補間した際により高い精度を持つ近似関数、または近似位置別の異なる補間方式を決定しなくてはならない。

参考文献

- [1] 大山他, : “感覚・知覚 心理学ハンドブック”, 誠信書房, (1996)
- [2] T. Indow, : “The global structure of visual space - advanced series on mathematical psychology Vol.1-”, World Scientific, (2004)
- [3] 梶谷, 太田, : “見かけの大きさに従った画像再生法-近接した二つの球の画像-”, 信学技法, HIP2005-83, 105(479), pp. 21-26, (2005, 12)
- [4] 梶谷, 渡部, : “視点からの距離に関する「みえ」変形の相似性に関する検討-主観的透視投影法の研究-”, 電子情報通信学会ソサエティ大会講演論文集, 基礎・境界サイエンス, p. 185, (2001)