

高度心象画像生成のための視覚歪み空間論の提案

- 主観的透視投影法に関する研究 -

梶谷哲也 †、渡部和 † †

文化女子大学 †、創価大学 † †

〒151-8523 東京都渋谷区代々木 3-22-1 †、〒192 東京都八王子市丹木町 1-236 † †

Tel/Fax : 03-3299-2334 †, Tel : 0426-91-9419 / Fax 0426-91-9312 † †

e-mail: Kajitani@bunka-wu.ac.jp †, Hitoshiw@t.soka.ac.jp † †

視覚歪み空間論にしたがって、三次元空間を前処理する主観的透視投影法を報告する。本手法は、人間が自然な状態で誘起される心象に、単点透視投影図から誘起される心象を少しでも近づけることを目的としている既に我々は物理的な大きさと、心理的な大きさととの比(歪み率)を定量化する画像比較法(ICM)を提案し、それによって測定した歪み率を基に生成した単点透視投影図は、高度心象画像であることを実験的に検証した。さらに、局所的な歪み率の分布、それらの相互作用、および視点からの距離に関する相似性を検討した。

本報告では、新たに視空間ポテンシャル論を導入し、それに基づいて、空間全体にわたる歪み率を一義的に定める視覚歪み空間論を提案する。さらに、画像比較法によって奥行き方向に関する特性を考慮した心象空間を定義する。この定義によって、心象空間を二次元画像化することが可能となった。

キーワード:

視覚歪み空間論, 視空間ポテンシャル, 画像比較法, 奥行き知覚変換, 高心象画像, 主観的透視投影法

The Visual Skew Space Theory for Generation of Perspective of Image Space

- Studies on Subjective Perspective Transformation -

Tetsuya KAJITANI †, Hitoshi WATANABE † †

BUNKA Women's University †, SOKA University † †

3-22-1 Shibuya-ku, Tokyo 151-8523, Japan †, 1-236 Tangi-chyou, Hachioji-shi, Tokyo 192, Japan † †

Tel/Fax : 03-3299-2334 †, Tel : 0426-91-9419 / Fax 0426-91-9312 † †

e-mail: Kajitani@bunka-wu.ac.jp †, Hitoshiw@t.soka.ac.jp † †

This paper proposes a subjective perspective transformation theory that transforms a real space to the visual skew space. The theory aims at creation of an approximate mental image induced by a perspective to a natural image using both eyes. The image comparison method (:ICM) that measures a skew ratio is proposed. It is verified experimentally that a perspective generated by means of skew ratios measured by ICM has enough similarity to a perspective of image space. Local distribution of skew ratios, their correlations and a similarity relation of apparent deformation with view distance have investigated.

The visual skew space theory is proposed, that determines skew ratios by means of visual space potential in a image space. A property of image space in depth direction that measured by ICM is derived. Based on the defined property, it is possible to realize a image space to a perspective.

Keyword:

visual skew space theory, visual space potential, image comparison method, perspective of image space, perspective of image space, Subjective Perspective Transformation

1. はじめに

次世代の中心的な動画像符号化方式の一つと考えられるMPEG4.7および21では、仮想視点から二次元画像を生成する機能を情報の復号化側の機能とし、符号化側はそのために必要となる三次元の情報(三次元オブジェクトとオブジェクト同士の関係に関する記述)をインタラクティブに復号化側に提供する。このことによって復号化側が独立して三次元空間の情報を仮想視点からの二次元画像とすることを可能とした。さらに、復号化側に三次元空間に関するすべての情報がインタラクティブに提供される。加えて、三次元空間の構成、仮想視点の設定条件、視点からの画角などを符号化側とは独立に選択/設定することが可能になったところが、人が自然な状態で両眼立体視によって三次元空間から誘起される心象(induced image)は、単眼に相当する視点から生成された既存の単点透視投影図から誘起される心象とは異なることがある。一方、MPEG4によって三次元空間を二次元画像に変換する方法は、基本的に、既存の単点透視投影法を採用しているために前述の差異や、観察者個人の主観的な個性(特徴)に対応することが困難な場合がある。

そこで、本報告では、人間が自然な状態で誘起される心象に、単点透視投影図から誘起される心象を少しでも近づけることを目的として、単点透視投影変換適用以前の三次元空間に視覚歪み空間論にしたがった前処理(知覚変換)をする主観的透視投影法を提案する。視覚歪み空間論では、観察対象を実空間から、視覚歪み空間へ投影し、その空間で単点透視投影図をする。その結果、生成される単点透視投影図は、従来より観察者にとって違和感の少ない心象を誘起するものと考えられる。ここで、このような二次元画像を高度心象画像とする。また、その画像の生成手法全体を主観的透視投影法とする。

本文では、まず、視覚歪み空間論を用いた視覚歪み空間論について報告する。次に、その根拠となる一連の実験とその結果の考察を行う。最後に、実空間で高度心象画像を生成するための前処理としての奥行き知覚変換について述べる。

2. 本研究の目的と主観的透視投影法の基本的な枠組み

人間が自然な状態(両眼立体視)で対象から受ける心象(induced image)を視覚的自然認識系によるものとするところ、同じ対象でも受ける心象は写真のように二次元画像に変換する古典的透視投影法による心象とは異なることがある。その例として、水平線上にある満月の大きさをあげる事が出来る。月の大きさだけであれば、オブジェクトである月の大きさを大きくすればその場の問題は解決する。しかし、その体系的な方法論に関しては、十分な検討がなされているとは言い難い。

そこで、人間の対象観察機能を近似的に線形システムと考え、古典的透視投影法を適用する前に、視覚歪み空間論にしたがった前処理を行うことにより、最終的に得られる心象を視覚的自然認識系による心象に近似させることを目的とした透視投影法(主観的透視投影法)を提案する。

なお、人間の主観的な空間認識過程と考えられる前処理を、人間の主観的な空間認識過程である空間の心理的変形(知覚変換)と生理・物理的要因による視覚特性変換(視覚変換)の2変換に分解した。すなわち、現実空間対象(real object)を知覚変換と視覚変換とにより変換した後に、既存の古典透視投影法の単点透視投影変換(二次元画像化変換)を行うものとする。ただし、本文では知覚変換のみについて述べる。以下、人間の心理的変形(知覚変換)は、視覚歪み空間論に従ってなされるとする。

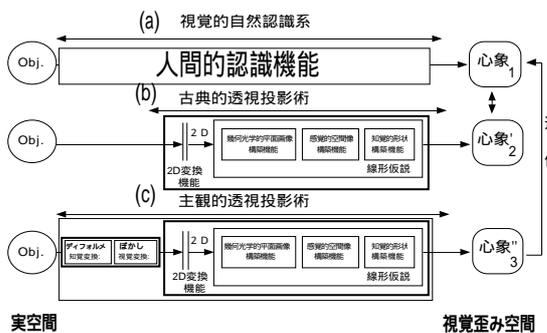


図1 本研究の目的と主観的透視投影法の基本的な枠組み

2.1 視覚歪み空間論

視覚歪み空間論は、対象の位置情報とその大きさ(倍率)のみを対象とする。視覚歪み空間論を用いた、高度心象画像の具体的な生成手順は、以下のようなものである。

まず、実空間(real space)内にある対象(real object)を視覚歪み空間(visual skew space)へ写像(mapping)し、心象対象(Image object)とする。なお、その時の対象と心象対象との大きさの比の量(歪み率:skew ratio;Sr)は、画像比較法(ICM: Image Comparison Method)によって測定する。

測定された歪み率を、心象空間の三次元座標($r: x^*, y^*, z^*$)と歪み率との関数である、局所的視覚歪み空間ポテンシャル関数(局所ポテンシャル local visual space potential function)で規定する。なお、局所ポテンシャルは、領域係数(field coefficient)と振幅係数(amplitude coefficient)のパラメータをもつ。さらに、心象空間全体の視覚歪み空間ポテンシャルを導入し、局所ポテンシャルの線形和として、実用的な範囲で近似できることを観察実験により確認した。従って、心象空間の歪み率は、視覚歪み空間ポテンシャルで一義的に定まる。

以上のような心象空間で、視点から既存の単点透視投影法(perspective)で単点透視投影図を生成すれば、高度心象画像(perspective of image space)を生成することができる。ただし、主観的透視投影法(subjective perspective transformation)では、実空間内で単点透視投影法を適用する事で、高度心象画像を生成する事を前提としている。そこで、実空間で高度心象画像を生成する前処理として、心象対象それぞれを奥行き知覚変換(apparent depth transformation)する。これにより、心象対象は、実空間内で視点に対して高度心象画像とするために、適当な位置と大きさを持つ。最後に、その前処理(知覚変換)された対象を、視点を原点とする単点透視投影法を適用することで、高度心象画像を生成することができる。

3. 実空間と視覚歪み空間との歪み率[1]

最も基礎的で最小の因子である位置と大きさからなる三次元対象(球)を2つ用いて、画像比較法により、その歪み率を測定する。

3.1 画像比較法 ICM:Image Comparison Method)

画像比較法は、実空間内の三次元対象から観察者が誘起される心象の大きさ(みえの大きさ)を、実空間上での大きさとの比(歪み率Sr:skew ratio)として測定する方法である。本報告では、その比は対象の大きさ(As)と心象対象の大きさとの比に相当する。

画像比較法の手順は、以下ようになる。まず、基準となる大きさの対象(参照球)を基準点に布置する。同時に、大きさを測定する対象(比較球)を測定点に布置する。次に、観察者はそれらを観察して、それらの相対的なみえの大きさを記憶する。ここで対象の観察を中止して、その記憶(心象)にしたがってコンピュータ上に表示された円球の二次元表現の比較球に相当する円の大きさを調整して参照球の大きさに対する比較球の大きさの相対的な関係を再現する。なお、この操作は観察者が自ら行う最後に、比較球に相当する円の大きさを測定値(調整値)として記録する。

それらの調整値を、参照球を基準とした比較球の「みえの大きさ」As (apparent size)とする。一方、参照球を基準とする比較球の「物理的な大きさ」Rs (real size)とする。すると、参照球を基準として、比較球の「物理的な大きさ」とその「みえの大きさ」の比率を定めることができる。

その比を歪み率(Sr:skew ratio)と定義し、次式のように定める。

$$Sr = (As - Rs) / Rs \quad (1)$$

3.2 画像比較法による歪み率の測定

目的: 対象球2個を両眼立体視した時の視覚歪み空間内の視対象の大きさを歪み率として測定する。

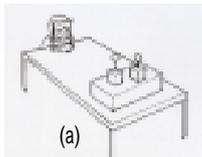
方法: デッサンなどの教育を受けたことのない女子大生18~22歳)10人を被験者Aグループとして、図2のように、被験者から600mm離れたところに、参照球と比較球を一つ布置して、画像比較法を用いて歪み率の測定を行った。

次に、デッサン教育を受けた女子大生20~23歳)8人を被験者Bグループとして、同様な手順で実験を行った。

結果: Aグループでは、図4のような結果を得た。この結果から、基準となる球

の近傍で、歪み率が最大で13%程度となることが分かった。一方で、デッサンなどの訓練を受けたBグループでは、歪み率は、Aグループに比べ、小さい傾向があることが分かった。

考察：まず、測定された歪み率から、実空間では同一の対象が視覚歪み空間では、個人によってその大きさに差があることが考えられる特に、Aグループの被験者で、2つの球が近接した時、同じ大きさの球であるにもかかわらず、視点から奥にある球が、手前の参照球より大きく見えるほど大きな歪み率が測定された。



(b)

図2 歪み率の測定条件

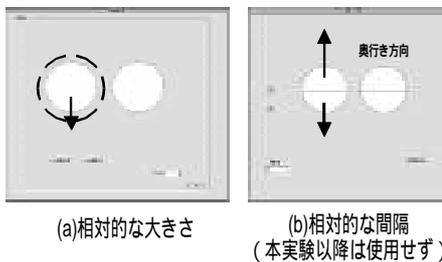


図3 心象としての大きさ、間隔を報告するためのプログラム

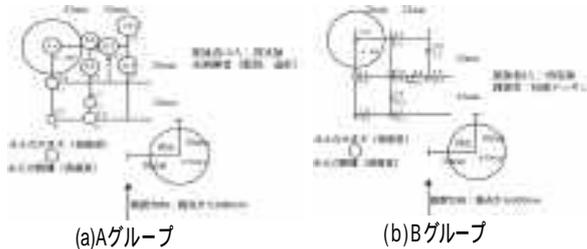


図4 グループ別の歪み率の分布
図中の の大きさは歪み率

3.3 歪み率の視空間ポテンシャル による表現

視空間ポテンシャルは、心象空間の各点 $[x^*, y^*, z^*]$ に対して歪み率 Sr を規定するものである。具体的には、「同一形状のものでも、奥にあるものが大きく見える」という現象を体現させ、主観的な認知過程によって誘起される、次に示す心象空間の変形条件を満足しなくてはならない。

そのために、観察者(原点)の注目点位置ベクトル r_s (近傍 局所座標系：図6で、主観的な空間認識過程における空間の心理的変形の性質として、次の3条件を導入する。

：視点から注目点に対して、奥行き方向では歪み率は正となる。逆に、手前では負の値をとる。(変形作用の対称性)

：視点に対して、互いに十分離れている対象同士の歪み率は、ほぼ0となる。(変形範囲の局所性)

：視点に対して奥行き方向(z軸方向)に従った歪み率が支配的のため、それ以外

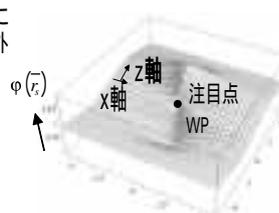


図5 一つの注目視野内の歪み率：
実空間に対象が2つ (m_1, m_2) があり、
観察者はその中央 r_s を注目している場合

図6 局所ポテンシャル のz-x平面上の値
図では、高さ方向が歪み率の値

の方向での歪みは十分に小さいとする(変形作用の方向性)
ここで、局所ベクトルに関する局所的視空間ポテンシャル(局所ポテンシャル関数)を導入し、次式のように定める。

$$\varphi(\vec{r}_s) = \lambda \frac{\exp(\vec{r}_s, \vec{b}) - \exp(-\vec{r}_s, \vec{b})}{\exp(\vec{r}_s, \vec{b}) + 1} \quad (2)$$

ここで、 (\vec{r}_s, \vec{b}) は、 \vec{r}_s と \vec{b} の内積を表し、 k はz軸方向の単位ベクトルとする。

b ：観察者の注意領域の広さを表す領域係数 (field coefficient)

：領域内の心理的変形の大きさを表す振幅係数 (amplitude coefficient)

なお、関数 は各種解析に便利な性質も持っている。

3.4 局所ポテンシャル のパラメータ (b) の決定

局所ポテンシャル関数 は、

のように、注目点 r_s からz軸方向に従って、正の大きな値となり逆方向では負の値となる。ただし、注目点の横方向(x軸方向)や縦方向(y軸方向)では恒常的に0となるポテンシャル関数で、全体の形状は振幅係数 と領域係数 b とで決定される。そこで、これら b の値を、実際の歪み率の平均値(被験者10人、10カ所)から、ポテンシャル関数の関数値と測定された歪み率との差の絶対値の平均値 (φ, b) が極小となる組み合わせとして求めた。その結果、Aグループから測定された歪み率に対して、 $(\varphi, b) \approx 2.20$ となる (φ, b) の組み合わせとして、 φ :振幅係数 3.50、 b :領域係数 5.00が適切 ($\varphi, b) = 2.20$)であることが分かった。同様に、Bグループで測定された測定結果には、 φ :振幅係数 0.50、 b :領域係数 25.0、が適切 ($\varphi, b) = 1.39$ であることが分かった。

4. 1シーン内の複数の注目視野と視空間ポテンシャル [2]

主観的透視投影法は、観察者が自然な状態で誘起される心象に近い心象を誘起する二次元画像(以下、高度心象画像)を生成することを目的としている。ここで、その観察者の心象空間

は、観察者本人が、主観的に同時と認知する、複数の実空間に関する部分的な情報からなると仮定する。すると、それは複数の注目視野から得られた実空間に関する部分情報から構成されていると思われる [4]。そこで、以上で定義した視空間ポテンシャル を複数の視野に存在する複数の対象に対応させるために以下のような2つの概念を導入する。

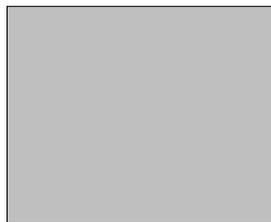


図7 相互作用の概念図

：人間の視覚特性に起因する視野限界。従って、主観的に一つと認知される心象(シーン)には、複数の注目視野が存在する。

：視覚的局所歪みの相互作用の存在。実空間内の対象それぞれは、心象空間の複数の視空間ポテンシャル全ての影響を受けるものとする。

4.1 局所ポテンシャル の相互作用

以上の仮定から、視野限界に起因する複数の注目視野(watch field)には、それぞれ一つの局所ポテンシャル で規定される歪みが起こり、その影響は注目視野の範囲を越えて、心象空間全体に影響を及ぼすことになる。こ

で、心象空間全体に対して視空間ポテンシャル を想定し、複数の局所ポテンシャルの合成ポテンシャルとして表す。なお、局所ポテンシャル は、本来局所的な歪み率を規定するポテンシャル関数であるため、それらの合成ポテンシャルである視空間ポテンシャル は、その重畳性仮定から次式のように表現できる。

図8 歪み率の測定条件

$$(r_1, r_2, \dots, r_n) = \varphi \bar{r}_{s1} + \varphi \bar{r}_{s2} + \dots + \varphi \bar{r}_{sn} + \varepsilon \quad (3)$$

ここで、 ε は線形近似に対する誤差項。また、 \bar{r}_{si} は異なる注目点 r_i に対する局所座標系。

以下のような実験から各測定点に関する視空間ポテンシャルの相互作用の傾向を定量的に評価する。

4.2 局所ポテンシャルの相互作用の測定

実空間に関する複数の注目視野の情報から形成される視覚歪み空間の歪み率を測定する。

実験1,2:

目的：画像比較法によって、参照球の位置の異なる局所的な対象の歪み率 S_r を測定する。

方法：被験者は、図8のような条件で、実際の2つの対象(球 $\phi=50\text{mm}$)を使って、画像比較法によって歪み率を測定した。なお、測定順序は被験者によらず測定点番号順に行った。また、被験者は男女8人。(実験1：図9-a,b 左半分、実験2：図9-a,b 右半分)

実験3:

目的：視空間ポテンシャルの局所ポテンシャルの線形加算による近似仮説を検証する。

方法：図8の条件で、3つの球 $\phi=50\text{mm}$ を観察し、提示された三次元対象がどのように見えたのかを定量的に報告する。その他諸条件は、実験1と同じ。
結果：まず、実験1,2から、視点に対して参照球が左右にある時の歪み率が、それぞれ測定できた(図9-a,b)。さらに、実験3から、二つの球が存在する時の歪み率が測定できた(図9-c,d)。

考察：実験1,2の歪み率をそれぞれ視空間ポテンシャル 右、左として、そ

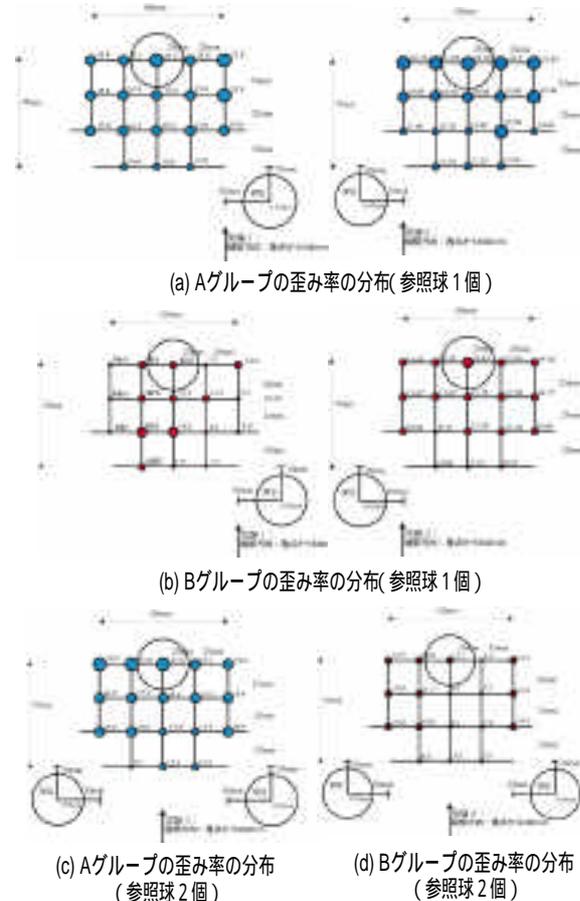


図9 歪み率の測定結果

表1 Aグループの局所パラメータ値と誤差

表2 Bグループの局所パラメータ値と誤差

の重畳(線形加算)で近似すると、それぞれのパラメータとその時の誤差は表1, 2のようになった。次に、実験3の各測定点から得られた歪み率と局所ポテンシャル 右と 左の重畳値との残差はAグループで0.17、Bグループで0.10であった。

本報告で、視空間ポテンシャルを局所ポテンシャルの重畳によって近似する妥当性は検証された。さらに、局所ポテンシャル相互の近接効果等を検討することで、その精度を向上させることは今後の課題となる。

5. 実空間での対象の幾何工学的な写真像とその心象

既知の単点透視投影法では、三次元立体は、視点に対して距離の二乗に反比例した大きさの面積(視野角)を持つ。この面積は、視点からの距離に関して比例関係を保持しているため、同時に、相似関係も保持していることになる。ところが、人間はその知覚特性から、必ずしもそうでない事が報告されている[5]。従って視覚歪み空間では、心象対象の大きさは視点からの距離に対して相似関係は保持されても、比例関係は保持されない。

5.1 視覚歪み空間における視点からの距離に関する

心象対象の大きさの相似関係[3]

ここで、従来の視空間ポテンシャルを、心象対象の大きさの相似関係に対応させるために、新たに、以下のような概念を導入する。

：人間の視覚特性に起因する実空間の分解能(視力)の限界。

：視覚歪み空間における、心象対象の大きさの距離に関する相似性。

実空間で局所的に同一な位置関係にある複数の対象に対応する心象対象の大きさは、視点からの距離によらず、その相似関係を保持する。ただし、その比例関係は保持されない。

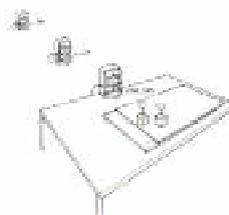


図10 相似関係に関する実験条件

5.2 心象対象の大きさの相似関係に関する実験

目的：実空間で局所的な対象に対応する心象対象の大きさが、視覚歪み空間で、視点から対象までの距離に対して相似関係を保つかを実験的に検討する。

方法：被験者は、女子大生5人と40代男性1人の合計6人。観察者の視点から観察対象までの距離を0.6m, 2.0m, 5.0mとした(図10)。この時、2つの球は、過去の実験結果[1]から観察者の歪み率が最も大きかった位置関係とした。なお、被験者は、その観察距離を変化させるごとに、2つの球の「みえ」の大きさの「主観的な」関係に変化があったか無かったかを定量的に報告する。結果：被験者全員から、「0.6mで得られた2つの心象対象それぞれの大きさが、視点からの距離を変化させても変わらない」との自省報告が得られた。

同時に、全く同一の実験条件にもかかわらず、常に前方の球が後方の球よりも大きくみえたと報告したものが2人、逆に後方の球が大きくみえたと報告したものが4人いた。

考察：実験の範囲内で、2つの球の視覚歪み空間での大きさ倍率は、視点からの距離に関して相似関係を保つと思われる。仮に、0.6mで得られる心象がその距離を変化させても相似関係を保つと一般に仮定できれば、観察者固有の歪み量は、視点からの距離が異なっても局所的な画像比較法により抽出した、局所ポテンシャルと同一のパラメータ、 b で規定できると思われる。

6. 視点からの距離に関する心象対象の大きさ (apparent size)

物理的に同じ物が与える網膜像の大きさあるいは視角は、観察距離に反比例して変化する。それにもかかわらず、見かけの大きさはほぼ一定に保たれる傾向がある。これが「大きさの恒常性」と呼ばれる現象である。これは、人間の大きさの知覚が、たんに網膜像の大きさに比例するのではなく他の刺激変数、とくに奥行き知覚の手掛かりによっても規定されることを示している。[6] pp.56: Holway, A.H. & Boring, E.G. 1941] また、「大きさの恒常性」は、いわゆる奥行き知覚の手掛かりが豊富なほど明確に現れると考えられる、と報告されている。[6] pp.56: 小笠原, 1952; 牧野, 1969]

一方で、視点からの一定の距離に大きさの異なる正方形本文では、球のシルエットに相当を提示すると、その対数に比例した知覚が得られることが報告されている。F.H.Weberは、「人間の感覚は、物の間の差違そのものを知覚するのではなく物の大きさに対するその差違の比率を知覚する」とした。さらに、Fechnerは、Weberの法則が一般に成立すれば、「感覚の大きさは基本的刺激値の対数に比例する」とした。後に、Stevensによって、感覚量と刺激量のべき関数表現が提案された。この関数表現を用いて、投影された線分の長さに関するべき指数は1.0となることが報告されている[6]。同様に、投影された面積のべき指数は0.7となる事が報告されている。このことは、観察者の視点から等距離の場所に、倍の面積を報告では正方形を提示しても、感覚的にはそれほど大きくなったとは感じないことを意味する。

6.1 奥行き知覚関数 (apparent depth function)

視覚歪み空間の視点に対して奥行き方向の特性を求めると、これまでに、同じ対象が視点からの距離に応じてどのよう大きさに見えるかに関する報告はない。そこで、人間の知覚量 R は基本的に、刺激の全体量 S に対する変化量 ΔS との比で誘起される仮定し、上述の報告を考慮し、視点からの距離と心象対象の大きさに関する仮説を設ける。

仮説：「同じ大きさの対象を、視点から異なる距離で観察した時、視点から近距離 $< 10m$ ならば、その奥行き情報の豊富さからほぼ直線的な知覚が得られ、それ以上の距離になって奥行き情報が十分でなくなると、対数に比例した知覚が得られる傾向が強くなる。」

このよう、物理的距離情報を、心理的な感覚情報に変換する奥行き知覚関数 (apparent depth function) を次式とする。

$$f(z) = d \ln 1 + \frac{m}{d} z \quad (4)$$

なお、 m は個人の恒常性の程度を表す係数 (apparent size constancy coefficient) であり、ここで、本報告では、臨界点 (相転移定数 d : phase distance constant) を長田の報告を用いて決定した。長田は各種の奥行き手がかりの有効な範囲とその相互作用を奥行き感度で定義し、報告した [6]。その報告によれば、視点から10mで、奥行きに関する手がかりの数が急激に減少し、さら



図11 視点からの距離に関する心象対象の大きさの測定条件

に残った手がかりの感度も減少する。従って、相転移定数 d を10mとすることが妥当と思われる。

6.2 視点からの距離に関する心象対象の大きさの測定

目的：視点からの距離を変化させた時の、心象対象の大きさを画像比較法により測定する。

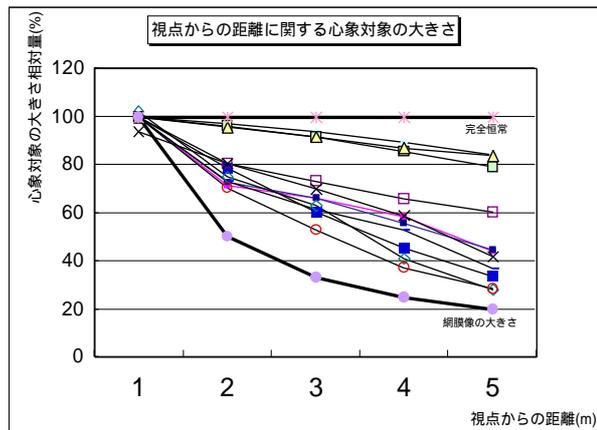


図12 心象対象の測定結果

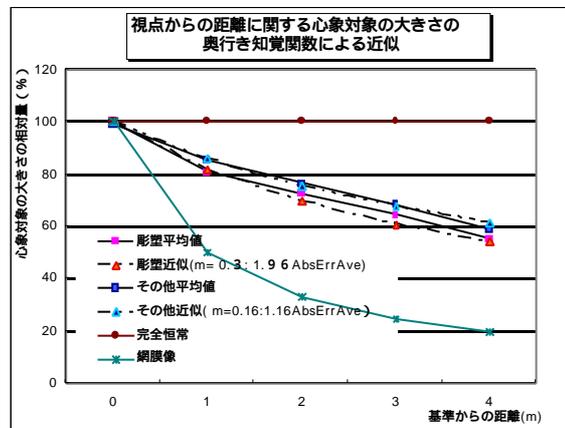


図13 各グループ別のみえの大きさの奥行き知覚関数による近似

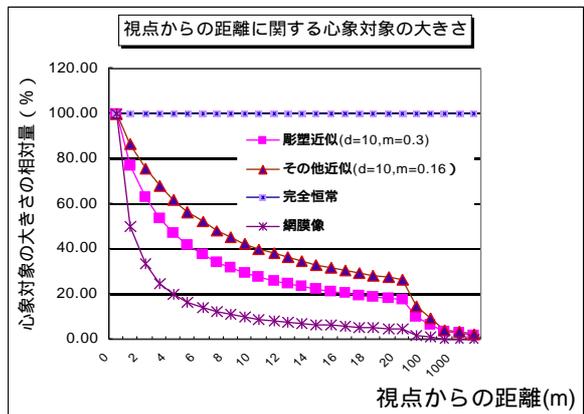


図14 奥行き知覚関数の特徴

方法：図11のような奥行き方向に長いテーブル上に置かれた球 (直径=50mm) の「みえ」の大きさを、視点に対して向かって右側、視点から1mのところ固定した参照球に対する相対的な大きさとして報告させた。

被験者は、女子大学生 (21~23才) 11人。これらの被験者を2つのグループに分けて測定した。まず、Aグループは、彫刻を専攻しデッサンなどの訓練を受けた5人、Bグループは、被服衛生を専攻し本学ではデッサンなどの訓練を受けていない6人とした。それぞれの被験者は、対象の距離を変化させて、その時の「みえ」の見える大きさを定量化した。変化させた距離は、視点から1m, 2m, 3m, 4m, 5m。両方の球の間隔は80mmとした。また、以上の測定を同一被験者が、時間間隔を取りながら4回繰り返した。

結果：図2のような結果を得た。なお、この結果の集計には、4回の実験結果のうち、後半の3回分を用いた。

考察：これらの実験結果から、すべての被験者は、異なる程度の恒常性が働く可能性があることがわかった。また、彫塑を専攻しているAグループの学生は一定の恒常度に集中する傾向があることが分かった。一方で、他方のグループでは、学生ごとに大きく異なる傾向があることが分かった。

以上の結果を、各グループごとに平均化し、奥行き知覚関数式4で近似した。その結果、Aグループは、相転移係数 $d=10$ とした時、恒常定数 $m=0.3$ 、誤差の絶対値の平均値1.96。一方、Bグループは、 $d=10$ とした時 $m=0.16$ 、誤差の絶対値の平均値1.16となった(図13)

6.3 心象空間の座標

以上で、視覚歪み空間の視点からの距離に関する心象対象の大きさの傾向が明らかになった。そこで、実空間座標 $[x, y, z]$ に対して、新たな座標 $[x^*, y^*, z^*]$ を以下のように定める。ここで、この座標による空間を心象空間(image space)と定める。

$$[x^*, y^*, z^*] = x, y, 10 \ln 1 + \frac{m}{10} z \quad (5)$$

ただし、局所ポテンシャル など局所的な距離の範囲では、 $z^* = z$ としてもその誤差が非常に小さいために、明確な差違は認められない。

7. 高心象画像の生成

7.1 最終的な心象対象の大きさの決定

これまでで、視空間ポテンシャルと、心象空間 $[x^*, y^*, z^*]$ の決定した。そこで、それらを使って心象空間内の心象対象一つ一つの大きさを定める手順を述べる。

まず、観察者の局所的な視空間ポテンシャルを画像比較法により求める。ここで、観察者に固有の係数 b が定まる。同様に、画像比較法を用いて、視点から奥行き方向に関する固有の恒常度係数 m を求める。

以上の係数が定まれば、 n 番目の心象対象 n の歪み率 s_n^z は、視空間ポテンシャルから、以下のよう求められることができる。

$$s_n^z = (r_n) = (r_{n,1}) + (r_{n,2}) + \dots + (r_{n,n}) \quad (6)$$

ただし、座標 $[x^*, y^*, z^*]$ 、また、 $r_{n,1}$ は、 n 番目の対象の中心を原点とする

局所ベクトル。 $r_{n,1} = r_n - r_1$ 。従って、 $r_{n,n} = 0$ 。

同様に、1番目～(n-1)番目までの心象対象の大きさも同様に決定する。

7.2 奥行き知覚変換

以上で、心象空間内の心象対象全体の大きさを求めた。このまま、心象空間内で、視点を原点として、単点透視投影法を適用すれば、それが、高度心象画像となる。

ただし、本研究の基本的な枠組みとして、二次元化画像の生成は、実空間内で行先のとっている。そこで、実空間で単点透視投影法を適用した時、高度心象画像となるように、各対象の心象空間での大きさ s と実空間での大きさ s_0 の比で、改めて、それらの大きさを変換する。ここに、心象対象の中心座標 (r_n) と、奥行き知覚変換関数(式4)を用いる。

$$(r) = \frac{(r,k)+1}{10 \ln \left[1 + \left(\frac{m}{10} \right) (r,k) \right] + 1} \quad (7)$$

ここで、 k は、心象空間の z 軸方向の単位ベクトル、 (r, k) は内積。

以上から、奥行き知覚変換された n 番目の心象対象の大きさ w_n は、

$$w_n = (r_n) + 1 (r_n) \quad (8)$$

となる。

同様に、1番目～(n-1)番目までの心象対象の大きさの差も同様に決定する。

8. まとめ

本報告では、これまでに行ってきた、物理的な大きさと心理的な大きさとの比(歪み率)を定量化する方式を画像比較法(ICM)とした。次に、その測定法を基にして、改めて、局所的な歪み率の分布、それらの相互作用、および視点からの距離に関する相似性の検討を行った。

さらに、新たに視空間ポテンシャルを導入し、それに基づいて空間全体にわたる歪み率を局所ポテンシャルの結合として定める視覚歪み空間論を提案した。

最後に、画像比較法によって奥行き方向に関する特性を考慮した心象空間を定義した。この定義によって、心象空間を二次元画像化することを可能とした。

9. 今後の課題

今後は、画像比較法(ICM)による歪み率の測定精度をより向上させるために、実験計画の再検討を行う。次に、視空間ポテンシャルの近似精度を向上させるために、局所的ポテンシャル相互の近接効果等を検討する必要がある。

一方で、本視覚歪み空間論で、有限な大きさを持つ対象の平行並木様問題の説明を試みることで、本理論の有効性を実践的に検討する。

<参考文献>

- [1] 梶谷哲也、渡部和、"知覚変換の提案とその実験的検証 - 主観的透視投影法の研究 -", 電子通信学会 信学技法, HCS2000-28, pp.225, A-15-1, 2000
- [2] 梶谷、渡部、"局所的知覚変換の相互作用に関する考察 - 主観的透視投影法の研究 -", 信学会総大会, A-15-1, pp.300, 2001
- [3] 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 - 主観的透視投影法の研究 -", 電子通信学会基礎・境界ソサエティ大会 A-14, pp.185, 2001
- [4] 犬山正ほか、"新編感覚・知覚ハンドブック", 誠信書房, 1996
- [5] 異田正巳、"空間を描く遠近法", 彰国社, 1992
- [6] 犬山正ほか、"講座心理学第4巻 知覚", 東京大学出版会, 1970

<謝辞>

東京都立大学人文学部 市原茂教授には、主観量の測定実験に関する実験計画に関してご助言をいただきました。感謝します。