

知覚変換の提案とその実験的検証

——主観的透視投影法の考察——

梶 谷 哲 也*

Perceptive Transformation and its Evaluation

——Studies on Subjective Perspective Transformation——

Tetsuya Kajitani

要 旨 ユーザー個人の多様な個性に対応できる高度なヒューマン・インターフェースに関する基礎技術として、知覚変換を用いた主観的透視投影法を提案する。

まず、プリミティブなオブジェクトを両眼立体視した時に誘導される心象の測定結果を報告し、オブジェクトの位置を変化させずに、その大きさだけを変更する知覚変換について述べる。さらに、そのモデルに必要な2つのパラメータの決定法を規定し、実際の測定値から決定したパラメータ値を報告する。次に、三次元の両眼立体視から誘導される心象と同等の心象を誘導する二次元透視投影図のデフォルメ量（大きさの変化量）の測定結果を報告する。

以上から、三次元空間中のオブジェクトが誘導する心象と同程度のデフォルメを行った単点透視投影図が、局所的には両眼立体視による心象と近似した心象を誘導することを実験的に検証できたことを報告する。

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 MPEG-4、7 では、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）を復号化側に提供する。このことによって、情報の復号化側が主体的に三次元空間の情報を二次元図形として生成する（切り出す）ことを可能とした（図1、2）。

これは、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こと、さらに、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（が許

可した範囲で）と独立に選択、設定することが可能になったことを意味する。

ところが、両眼立体視によって三次元空間から誘導される心象（induced image）は、既存の透視投影法から誘導される心象とは異なることがある。このような現象は、視点から対象までの距離が、遠距離、中距離、および近距離でも認められ、さらに、その現象が起きる環境

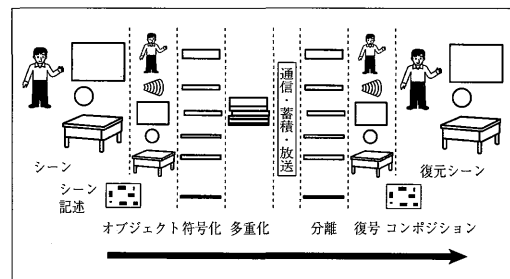


図1 MPEG-4の符号化/復号化の概念図 [1]

* 本学助教授 知識工学, 情報システム学

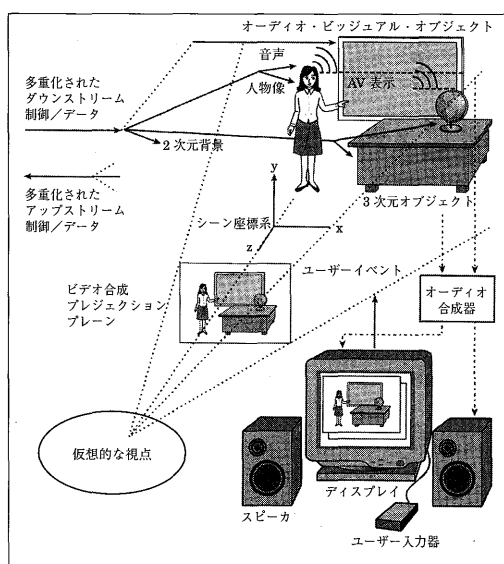


図2 MPEG-4の扱うオブジェクト空間 [1]

は、日常生活で接する一般的な環境でも生じている。一方、MPEG-4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、人間が両眼立体視によって誘導される心象に、透視投影図から誘導される心象を少しでも近づけることを目的として、透視投影変換適用以前の三次元空間に、一定の前処理（知覚変換）をする主観的透視投影法を提案する（図10）。

2. 動画像符号化標準 [1]

動画像符号化標準の一つである MPEG-1 は、H. 261 (1990. 12) をベースにして制定された。その後、この方式をきっかけとして、コンピュータ、通信、家電、放送などの分野が融合してきたと考えられる。

デジタル画像圧縮技術である MPEG 方式は、1988年に設立された委員会（Moving Picture Coding Experts Group）で検討が開始され、蓄積メディア系を対象とした MPEG-1、

放送メディア系を対象とした MPEG-2 の順に検討が進められてきた。さらに、現在、マルチメディアを対象とする MPEG-4 の検討がなされている。特に MPEG-4 は、従来の MPEG 方式とは異なる技術を数多く取り入れたものとなっている。

それらの特徴のうち注目すべき点は、符号化の対象（シーン：scene）を複数のオブジェクトとそれらで構成されたシーン記述とに分解し、それぞれ適正な符号化を行い、さらにそれらを多重化して蓄積、伝達などを行う基本方式である。この方式によれば、その復号化は、まず、多重化された情報を適切に分離し、さらにそれぞれを別々の方式で復号化した後に、合成（コンポジション：composition）することによって一つのシーンを復元することになる（図1）。これにより、オーディオ・ビジュアル・シーンを復元する際に、シーン記述を修正、操作することで、これまでになかった自由なシーンを合成することが可能となった。

その例として、

- メディア・オブジェクトをシーン内のどこにでも設定することが可能。
- メディア・オブジェクトの幾何学的な外観や音感を変えることができる。
- シーンを見たり聞いたりする場所を変更することができる。

（仮想的な視点をどこにでも設定できる）

等を挙げることができる。以上のような復号化側の持つ自由度を利用すれば、それが野球中継だとすると、自分が好きな選手だけを常に見続けることが可能となる。これは、観客（クライアント：client）の主観的な嗜好に個別に対応できるヒューマン・デバイスを構築することが可能になったと言い換えることができると思われる。

ところが、仮想的な三次元空間のどこをいつ見るかに関しては高度な柔軟性が確保できたものの、その観客が三次元空間から主観的に受け取る心象と同等の感性的な反応を引き出す二次元図形をいかにして生成するか（例えば、個人

の主観を考慮できる高度な臨場感)などの検討が十分なされているとは言い難い。

ただし、クライアントのみの個別な(アプリケーションの)問題であるため、改めて標準として検討する必要はない。ところが、今後はクライアントであってもサーバー、ないしはサーバーとのインタラクションを利用してほとんどの処理が行われると思われるため、ユーザーの多様な個性に対応できる高度なヒューマン・インターフェースに関する基礎技術として検討する必要があると思われる。

2-1 仮想的な三次元空間の平面幾何投影[2]

三次元の対象を二次元の平面(図形)に写し取る手法には、平面幾何投影法がある。この投影の考え方は、図3のように整理される。さらに、それぞれの投影は、以下のような特徴を持つ。

平行投影である正射影は、物体の一つの平面の正しい形状と大きさを示す。ただし、この射影一つでは、物体の三次元形状を再構成するために必要となる十分な情報が得られない。一方、軸測投影は、正射影が三次元形状を明確に表現できない欠点を補うものである。これは、(立方体のような単純な図形で)少なくとも三

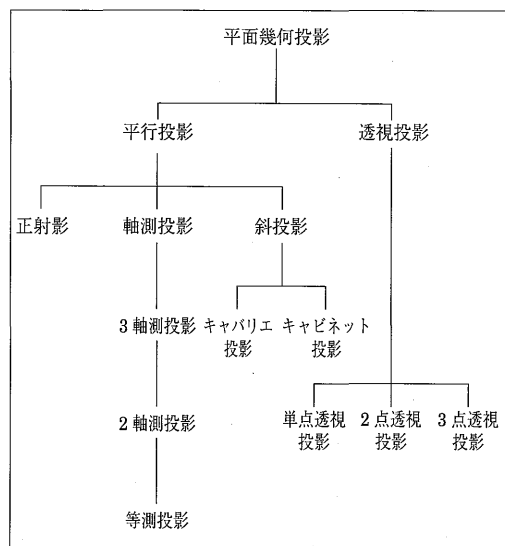


図3 平面幾何投影と単点透視投影

つの隣り合う平面が見えるように、物体を回転及び平行移動するものである。ただし、この方法では、立体の各面の本当の形状が直接は分らない。これは、物体を構成している平行線が一定の縮尺で表現されているからである。さらに、この投影法には、三通りの表現がある。また、斜投影は、物体の形状を表現できるものの、投影平面に平行な物体の平面だけが、正しい形状と大きさを表す。その他の面はそれぞれの投影法に従って歪んだものとなる。

一方、透視投影では、透視中心から距離が大きくなるにつれて平行線が集束し、物体の大きさは小さくなる。そのため、物体を構成する線分の縮尺も一様ではない(透視中心からの物体の方向と距離の関数となる)。この透視投影にも消点(vanishing point)の取り方で三通りの投影法がある。ただし、ここで注意すべき点は、このような透視変換は、物体を十分に表現できる位置(視点)からなされる必要があることである。

ここで、本報告では、これらの投影法のうち、三次元空間を一つの消点を持った二次元画像にする単点透視投影法についてのみ考える。

2-2 単点透視投影法[3]

単点透視投影法とは、図4にあるように、まず対象に対する視点(人間では単眼に相当)を固定し、そこから対象を構成する複数の頂点と

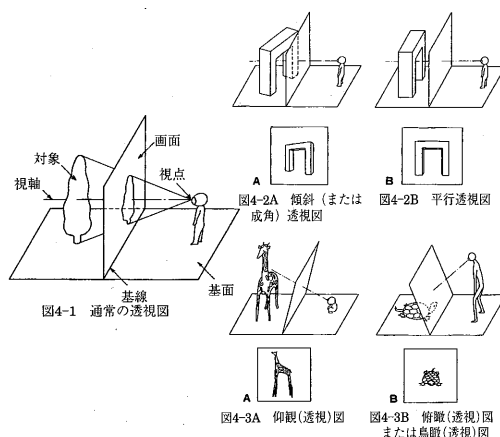


図4 平面幾何投影の基本的な考え方[2]

の間にできる直線を、対象と視点との間の画面で写し取ることに対応する。なお、通常、画面は視軸と基面に対して垂直に設定する。

以上の条件で、画面に投影される対象の頂点座標 $[xyz]$ は式1となる。従って、画面（二次元座標）上の座標系 $[x^*y^*z^*]$ は式2となる。

$$[x \ y \ z \ 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = [x \ y \ 0 \ rz+1] \quad (1)$$

$$[x^* \ y^* \ z^* \ 1] = \left[\frac{x}{rz+1} \ \frac{y}{rz+1} \ 0 \ 1 \right] \quad (2)$$

3. 両眼視空間の知覚特性 [4]

単点透視投影図は二次元図形にも関わらず、三次元空間に対する多くの情報を提供する。ところが、人間は必ずしも距離に応じて対象が小さくなるとは知覚していないことが古くから指摘されている。

1925年に、Helmholz は図5のような実験結果を報告している。この実験は、水平面上に y 軸に沿って対称に2光点を固定し、さらに、 x 軸上にもう一点を加えて、3点が一直線上に並んで見えるように点の位置を決めさせた。その結果、主観的には一直線上にならんで見えた

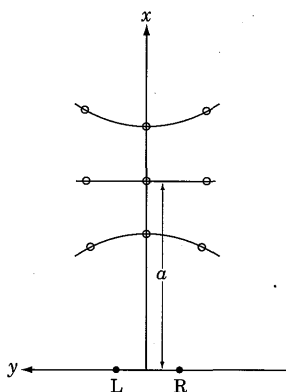


図5 Horopter 実験

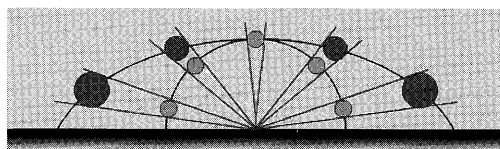


図6 月の錯視—みえの距離とみえの大きさ—

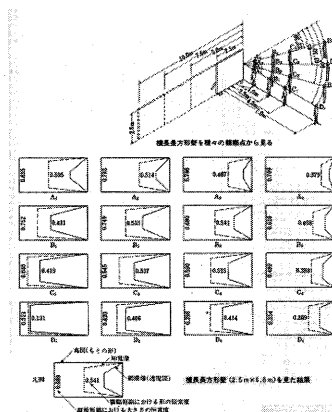


図7 横長長方形の壁を様々な視点から観察した実験結果 [2]

3 光点が、物理空間に作った形は、観察者からの距離によって異なり、距離 a では物理的にはほとんど直線となり、 a よりも遠方のところでは観察者に対して凸型となり、逆に近い時は、凹型となることが指摘された。

同様に、物理的には異なったいくつかの刺激配置が、知覚的には同一の配置と判断されるなどの矛盾が指摘されている。例えば、観察者から対象までの距離が大きい場合として、水平線上にある月がそれまでより大きくみえるといった「月の錯視 (Moon illusion)」が報告されている (図6)。同様に中距離でも、壁を観察した時の知覚像がその物理量と異なって観察されることが報告されている (図7)。さらに、近距離でも、Ames ら (1946年) によって図8のように、歪んだ部屋 (distorted room) でも長方形の部屋として知覚されてることが報告されている。

逆に、対象とする空間によっては、空間をあらかじめ変形してから単点透視投影図を作成す

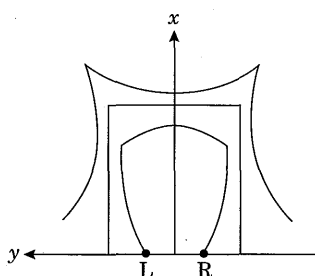


図8 異なる物理的刺激が同一のものと判断される例 [5]

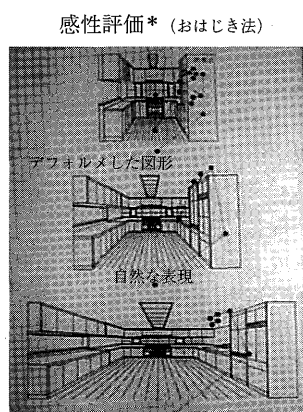


図9 現実にはあり得ない二次元画像がリアリティ（現実感）を持つ場合：梶谷，他：コンピュータを利用した透視図に関する研究—広角透視図法に関する一考察—，日本建築学会情報システム技術委員会第18回情報システム利用技術シンポジウム論文集

ることが，観察者の違和感を減少させた場合もある（図9）。

4. 主観的透視投影法 [6, 7] (SPT: Subjective Perspective Transformation)

既存の単点透視投影図は，二次元図形でありながら三次元空間に関する多くの情報が得られる優れた画像と考えられる。ところが，逆に，与えられた単点透視投影図から誘導される心象は，必ずしも，その透視投影図を作成した三次元空間を両眼立体視した時に誘導される心象と

は異なる場合もある。さらに，その差の内容や程度も人によって異なることが多い。そこで，今後のユーザーの多様な個性に対応できる高度なヒューマン・インターフェースに関する基礎技術として，主観的透視投影法なる新たな透視投影法を提案する。

以下で，まず，プリミティブなオブジェクトを両眼立体視した時に誘導される心象の測定結果を報告する。次に，オブジェクトの位置を変化させずに，その大きさだけを変更する知覚変換モデルについて述べる。さらに，そのモデルに必要となる2つのパラメータの決定法を規定する。最後に，実際の測定値から決定したモデルのパラメータ値を報告する。

あわせて，5. で，三次元の両眼立体視から誘導される心象と同等の心象を誘導する二次元透視投影図のデフォルメ量（大きさの変化量）の測定結果を報告する。

最後に，オブジェクトの心象と同程度のデフォルメを行った透視投影図が，両眼立体視による心象と近似した心象を誘導することを報告する。

4-1 主観的透視投影法の基本的な枠組み

図10のように，人間が自然な状態（両眼立体視）で対象から受ける心象₁ (induced image) を視覚的自然認識系によるものとする。ところが，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術による心象₂とは異なることがある。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，古典的透視投影術を適応する前に適切な前処理（線形変換）を行うことにより，最終的に得られる心象₃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を主観的透視投影術と称す。

なお，人間の主観的な空間認識過程と考えられる前処理（線形変換）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（Object）を知覚変換と視覚変換とにより変

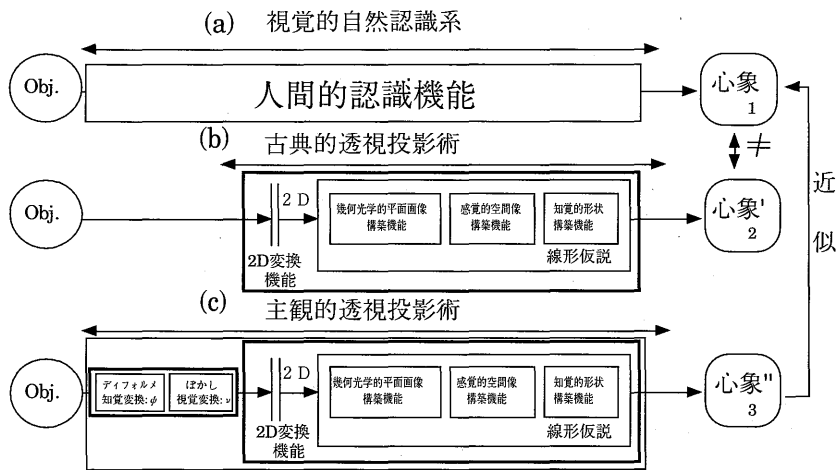


図10 主観的透視投影術における知覚変換の位置づけ

換した後に、既存の古典透視投影術の透視投影変換（2D変換）を行うものとする。

4-2 測定実験1

目的：プリミティブなオブジェクト（球）2個を両眼立体視した時に誘導される心象（みえの大きさ、みえの距離）を定量的に測定する。

方法：デッサンなどの教育を受けたことのない健常な女子大生（18～22歳）10人を被験者として、図11-aのような環境で実験を行った。まず、被験者は、顎（あご）台で視線を固定し、600 mm はなれた視線の高さにある2つの球（ ϕ 50 mm）を両眼で観察する。なお、観察する球は、木目などのテクスチャー効果をなくすため、灰色に塗装した。次に、合計10通りの位置関係（図12-a）に置かれた球の主観的な大きさ（みえの大きさ）と主観的な位置関係（みえの距離）を、被験者から向かって右の球の大きさ、位置を基準とした相対量として報告させた。この時、主観的な球の大きさと位置関係は、図11-b, c に示したソフトウェアを被験者自身が操作し、それぞれの主観量と一致するように調整することで定量化した。なお、被験者が図形（ソフトウェア）を主観量に一致させる操作中は、ディスプレイ上のテキストボックスには、何も表示されない。また、これらの主観量の測定順序は、被験者によらず、図12-a に

ある測定位置の番号順に行った。

結果：図12-b のような結果を得た。この結果から、基準となる球のそばで、幾何光学的像（photo-realistic image）が持つ量（写真値：geometrical optical value）とは、主観的な球の大きさが最大で13%程度異なった感じ方（知覚）をしていることが分かった。さらに、その定性的な傾向として、その差異は基準となる球との奥行き方向の距離に反比例する傾向が認められた。

4-3 測定実験2

目的：デッサンなどの立体を平面に写し取る訓練を受けた集団の、測定実験1と同じプリミティブなオブジェクトから誘導される心象（みえの大きさ、みえの距離）を定量的に測定し、測定実験1との比較を行う。

方法：同一のデッサン教育を受けた健常な女子大生（20～23歳）8人を被験者として、測定実験1と同様な手順で実験を行った。

結果：図12-c のような結果を得た。この結果から、本実験の被験者は、主観的にも、写真量と明確な有意差のない大きさ、距離を知覚していることが分かった。

考察：同じ三次元空間を両眼立体視しても、被験者によって主観的な感じ方に差異があることが考えられる。このことは、個人でも、経験に

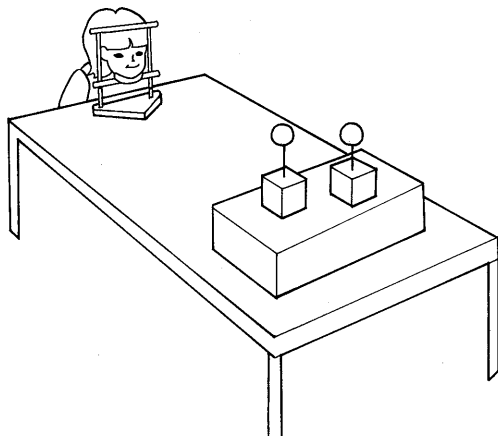


図11-a 実験環境

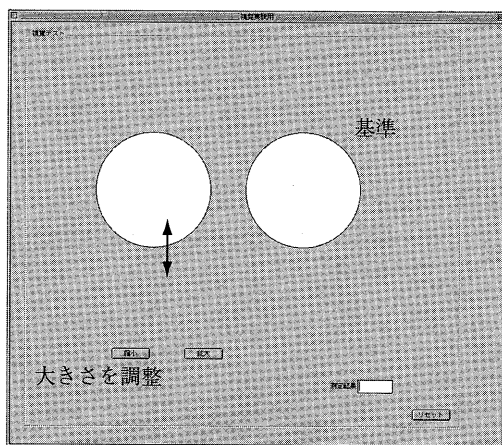


図11-b みえの大きさ測定用アプリケーション：
被験者は向かって左の球の大きさを調整

よってその見え方が修正される可能性を示唆していると思われる。なお、測定された対象の大きさは、測定実験1と2との結果には有意な差が認められた(**)。

4-4 知覚変換

(Perceptive Transformation)

この変換は、知覚現象に従った空間のデフォルメを実現する変換となっている。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るもので、主観的な認知過程によって誘起される、次に示す空間の心理的な変形条件を満足しなくてはな

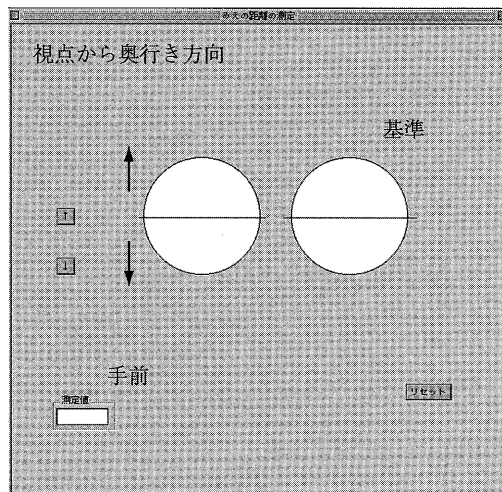


図11-c みえの距離測定用アプリケーション：被験者は向かって左の球の位置を調整

らない。

そのために、観察者（原点）の注視点（位置ベクトル \mathbf{r}_s ）近傍（局所座標系 $\bar{\mathbf{r}}_s = \mathbf{r} - \mathbf{r}_s$ ：図13）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。

I：注視点から視点に対して、奥行き方向では大きく見える。逆に、手前のものは相対的に小さく見える（変形作用の対称性）。

II：視点から、十分離れているオブジェクトの大きさには影響がない。（変形範囲の局所性）。

III：視点に対して奥行き方向（z軸方向）に従った変形が支配的なため、それ以外の方向でのオブジェクトの大きさの変化は小さい（変形作用の方向性）。

局所ベクトル $\bar{\mathbf{r}}_s$ に関する変形関数 φ を導入する。上記の3条件を満たす関数として、次のシグモイド (sigmoid) 関数 $g(x)$ ：

$$g(x) = \frac{1}{(1 - \exp(-x))}$$

を採用し、 $\varphi(\bar{\mathbf{r}}_s) = c \cdot g^*(-(\bar{\mathbf{r}}_s, \mathbf{b})) + 1$ と定める。これにより、変形関数 φ は、式3となる。

$$\varphi(\bar{\mathbf{r}}_s) = \lambda \left\{ \frac{\exp(\bar{\mathbf{r}}_s, \mathbf{b}) (\exp(\bar{\mathbf{r}}_s, \mathbf{b}) - 1)}{(\exp(\bar{\mathbf{r}}_s, \mathbf{b}) + 1)^3} \right\} + 1 \quad (3)$$

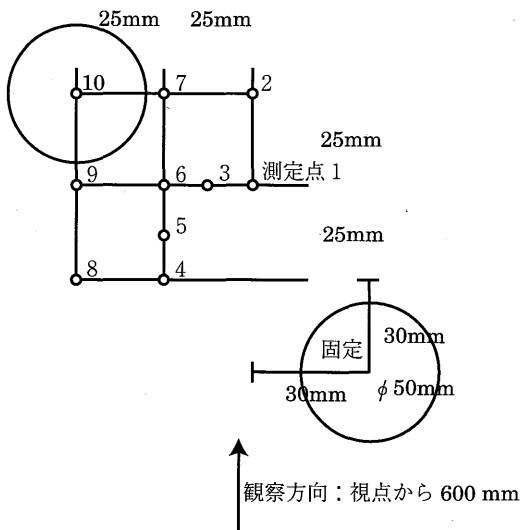


図12-a 測定環境と測定位置

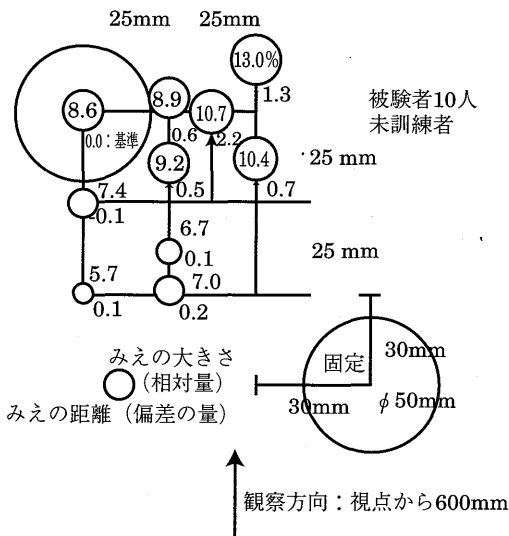


図12-b 測定実験1の測定結果

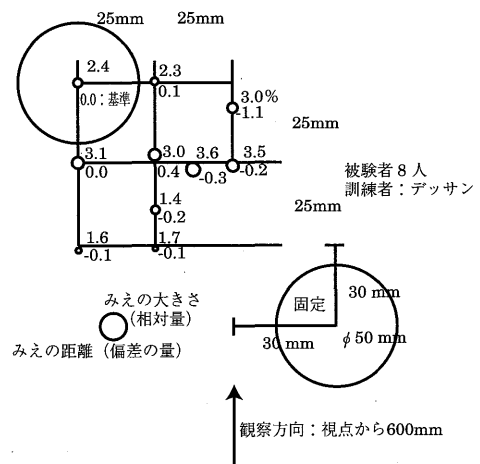


図12-c 測定実験2の測定結果

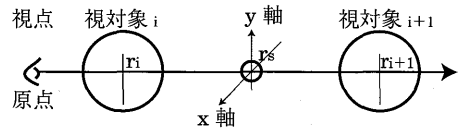


図13 三次元空間中に視対象が2つ (r_i, r_{i+1}) あり、観察者は、それらの中央 (r_s) を注視している場合

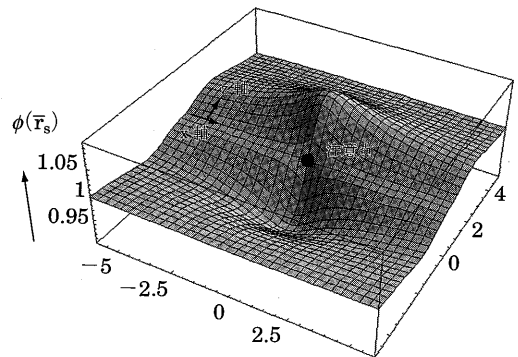


図14-a 拡大関数 ϕ の x - z 平面上の値

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

λ : 領域内の心理的変形の大きさを表す振幅係数

b : 観察者の注意領域の広さを表す領域係数
変形関数 $\phi(\bar{r}_s)$ は注視点近傍に存在する視対象を拡大/縮小する (図14-a)。

なお、関数 g は、微分に対して以下のよう

な性質をもっているため、変形関数 ϕ は各種解析に便利な性質を持っている。

$$g(x) = \frac{1}{(1 - \exp(-x))} \quad (4)$$

$$g'(x) = g(x)(1 - g(x)) \quad (5)$$

$$g''(x) = g(x)(1 - g(x))(1 - 2g(x)) \quad (6)$$

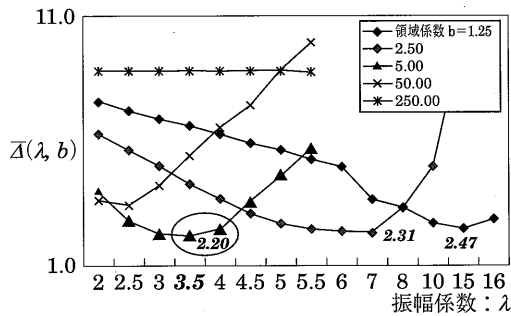


図14-b 計算値と観察値の差の絶対値の平均値 ($\bar{\Delta}(\lambda, b)$) による領域半径 b と振幅係数 λ の決定

4-5 変形関数 φ のパラメータ (λ, b) の決定

変形関数 φ は、図14-aのように、注視点 r_s から z 軸方向に従って大きな値となり、逆方向では1以下の値となる。ただし、注視点の横方向や縦方向では恒常的に1となる関数で、振幅係数 λ と領域係数 b で定まる。そこで、これら λ, b の値を、実際の観察実験の平均値（被験者10人、10カ所）から、計算値と観察値の差の絶対値の平均値 ($\bar{\Delta}(\lambda, b)$) が極小となる組み合わせとして求めた（図14-b）。その結果 $\bar{\Delta}(\lambda, b)=2.20$ となる (λ, b) の組み合わせとして、 λ : 振幅係数3.50, b : 領域係数5.00が適切 ($\bar{\Delta}(\lambda, b)=2.20$) であることが分かった。同様に、測定実験2の測定結果からは λ : 振幅係数0.50, b : 領域係数25.0が適切 ($\bar{\Delta}(\lambda, b)=1.39$) であることが分かった。

5. 知覚変換された透視投影図の実験的検証

目的: 知覚変換が定量的に適用可能であることを被験者の主観的な尺度で検証する。

方法: 被験者は、健康な男子大学生19人（20歳～26歳）。それぞれの被験者は、まず、同一形状の球（ $\phi=50$ mm）が横42.5 mm，奥行き方向55 mm 離れて置かれている空間を，600 mm 離れた顎台で視点を固定して観察する。なお，時間制限なし。次に，被験者の視線上に，知覚変

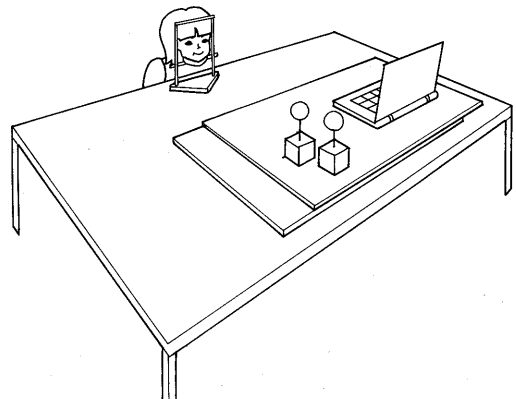


図15-a 実験環境

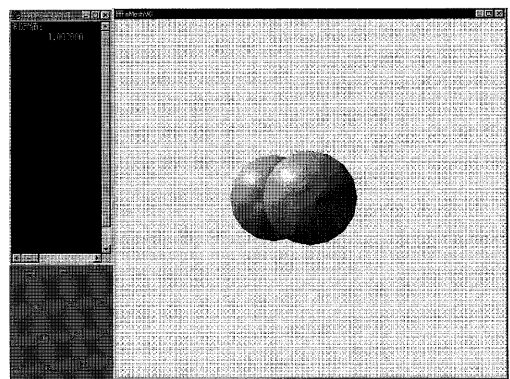


図15-b 比較対比用 CG(OPEN_GL) :

被験者に向かって奥にある球の大きさを調整する

換と同等のデフォルメが行える透視投影図を凸凹のない液晶画面で、手前の球の中心である注視点 r_s に提示する。そこで，観察した空間と主観的に同じ印象となるまで，透視投影図をデフォルメする。以上のような調整を被験者が十分と思われるまで繰り返し，最終的に二つの球の相対的な大きさの偏差を測定した。

結果: 図16のような結果を得た。この結果から，相対的に奥にある球の大きさを，幾何光学的像よりも1.1%～9.1%程度大きく見ていることが分かった（99%推定）。なお，その値は写真値とは有意（**）に異なっていた。

考察: 本評価実験から，両眼立体視による心象と同等の心象を，二次元の透視投影図中のオブジェクトの大きさを変化させて誘導しようとし

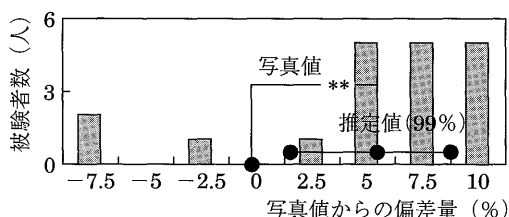


図16 現実の三次元空間と知覚変換された透視投影図の主観的評価

た場合、観察者の主観的心象に近い図形（測定実験1：平均10.68%，実験2：平均3.66%，総平均7.56%）を提示することが、その観察者の違和感を減少させる場合があることが分かった。また、その値は個人により多様なものの、同位置での観察実験の結果では明確な有意差が認められなかった。

6. 補 足 実 験

目的：心理的に既知なものとして認識されている対象（ファミリアな対象）の持つみえの大きさの定性的な傾向を把握する。

方法：測定実験1の環境で、基準位置と測定位置3とに国産たばこ（セブンスター）を2個置いて、そのみえの大きさを口頭で報告させた。

被験者は、健常な男女10人（20才～40才）。

結果：全員が「2個のたばこは、同じ大きさにみえる」と回答した。さらに、測定位置を3から7（図12-a：斜め後ろ）に移してもその傾向に変化がなかった。ところが、同じ位置から単眼で観察した結果は、後方にあるたばこの大きさは、一人の例外を除き、小さくなった（写真のような感じになった）との内省報告があった。またその1人は、単眼視でもそのみえの大きさに変化がなく2個のたばこは同じ大きさに見えていた。

考察：以上の結果から、今後、対象の変形量を多くの情報（形状の複雑さ、表面のテクスチャーの内容、観察者の心理的な注目度など）を考慮して決定する場合、対象の変形量は本報告とは異なる可能性があると思われる。

7. 複数の視野による知覚変換の検討

以上で、知覚変換の局所的な特性を実験的に検証した。以下では、この局所変換を行う変形関数 ϕ を複数を用いた時に必要となる評価実験の検討を行う。そのために、まず、（複数の視野を許す）動眼視の立場から変形関数 ϕ の相互作用を規定する。次に、距離に応じたHoropter様実験（7-3）で得られる理論的な可能性について検討を加える。最後に、その実験を通して評価すべき内容を明確化する。

7-1 Horopter 実験 [5]

1925年に、Helmholz は図17のような実験結果を報告している。この実験は、水平面上にx軸に沿って対称に2光点を固定し、さらに、z軸上にもう一点を加えて、3点が一直線上に並んで見えるように点の位置を決めさせた。その結果、主観的には一直線上にならんで見えた3光点が物理空間に作った形は、観察者からの距離によって異なり、距離aでは物理的にはほとんど直線となり、aよりも遠方のところでは観察者に対して凸型となり、逆に近い時は、凹型となることが指摘された。ただし、これらの

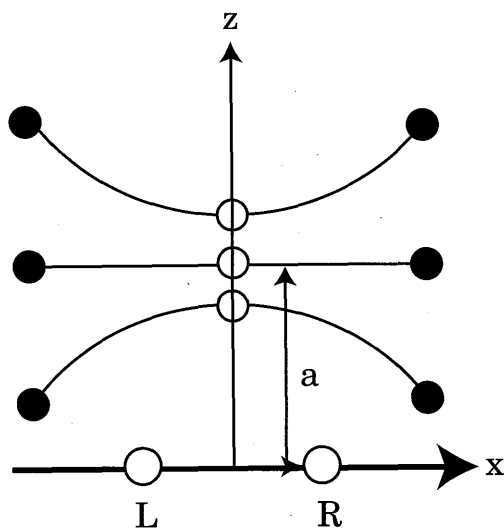


図17 Horopter 実験

結果は被験者の視野を固定した両眼視に関する特性を表している（視野は一つ）。

7-2 変形関数の相互作用

ここで、複数の視野に存在するオブジェクトに対する知覚変換を規定するために、以下のような2つの概念を導入する。

I：人間の視覚特性からくる視野範囲限界がある。

これにより、主観的に同時と認知される光景（シーン）には、複数の注視点が存在することになり、結果的に動眼視と同様のみえが得られると思われる。

II：視対象それぞれは、シーン中の人間の心理的な特性を表す変形関数すべての影響を受けるものとする（式7）。

$$\begin{aligned}\varphi(\bar{r}_{st}) &= f(\varphi(\bar{r}_{s1}), \varphi(\bar{r}_{s2})) \\ &= \varphi(\bar{r}_{s1}) + \varphi(\bar{r}_{s2}) + \varepsilon\end{aligned}\quad (7)$$

なお、 ε ：高次項。また、 $\bar{r}_{s1} = r - r_{s1}$, $\bar{r}_{s2} = r - r_{s2}$ 。

ここで、変形関数 $\varphi(\bar{r}_s)$ は局所関数であるため、式7の高次項 ε を省略し線形と見なして

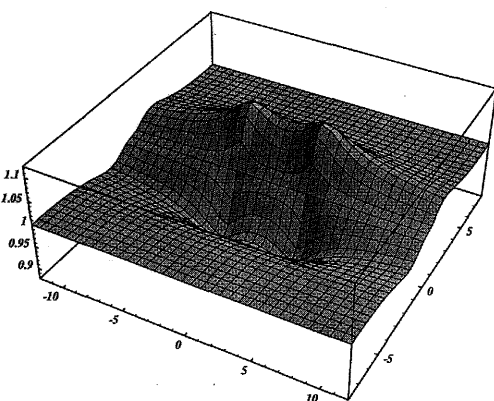
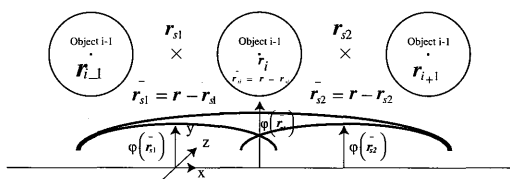


図18 複数の視野にある変形関数の線形和による対象の変形

よいとする。すると、オブジェクトに対する影響は、式8のような局所変換関数の線形和として表すことができる。

$$\varphi(\bar{r}_{st}) = \varphi(\bar{r}_{s1}) + \varphi(\bar{r}_{s2}) = \sum_i \varphi(\bar{r}_{si}) \quad (8)$$

ここで、 i は複数ある視野の通し番号。

なお、本報告では、各視野内に存在する注視点それぞれの位置を、視野内に存在する対象の中心座標の加算平均の位置とする。ただし、この線形性は実験的に証明されたものではない。

7-3 Horopter 様実験の理論的検討 [8]

図19のように、被験者の複数の視野を用いた見えに関する実験（以下「Horopter 様実験」と称す）から得られる可能性について、遠距離的環境、中距離的環境、近距離的環境の3つの場合に分けて検討する。

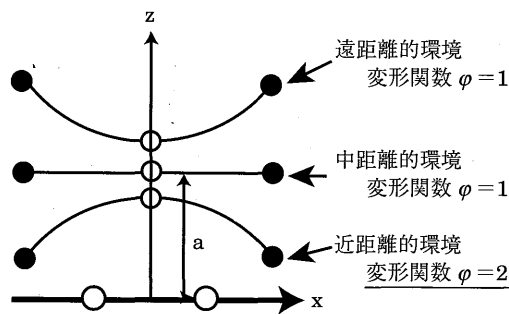


図19 Horopter 実験と Horopter 様実験

7-3-1 対象がすべて一つの視野内にある場合（遠距離的環境）

まず、図20のような状況では、知覚変換に必要となる注視点の位置が、中央の対象の中心点と x 座標が同一になるため、知覚変換により左右の対象のみが大きく見えることになる。ところが、提示されている対象は教示により心理的に既知なものとして認識されているため、対象の大きさの差はそのまま対象の位置の差として知覚される。結果、左右の対象は、視点に対して中央の対象よりも前に存在していると知覚される。ここで、すべての対象のみえの大きさを揃えよう（平行に並べよう）としたとき、物

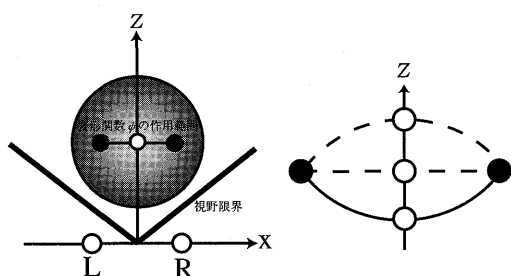


図20 遠距離的環境と測定結果の可能性

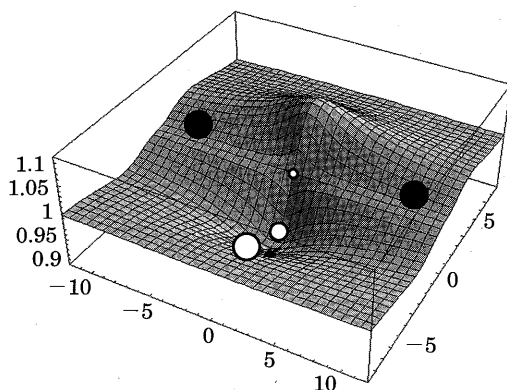
理的な配置は、視点に対して凸状になる。ただし、この結果は偶然被験者に近い位置から調整を行った時のみ成立する。その他の場合として、始めから平行になっていた場合は、そのままの位置が主観的にも平行だと報告される可能性が高い。さらに、被験者よりも遠くから平行になるように調整した場合は、Horopter 実験の結果とは矛盾する凹状の報告がなされる可能性もある。

7-3-2 対象が視野限界に近い場合 (中距離的な環境)

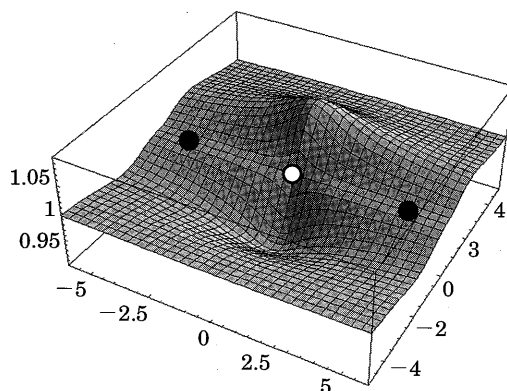
5-1と同様に対象はすべて視野内に存在しているが、視野の大きさよりも変形関数の局所変換領域が狭い、ないしは、十分に変形量が小さいと仮定すると、左右に存在している対象は、主観的に中央にある注視点からの拡大/縮小の影響を受けない。その結果、みえの大きさに従って3つの対象を揃えても、物理空間と同様な直線的配置が得られることになる(図20)。ただし、一般的に考えれば、主観的に報告される凸凹の大きさが他の場合よりもきわめて小さいと考えれば、3通りの回答がなされる可能性は否定できない。

7-3-3 対象が複数の視野にわたって存在している場合(近距離的な環境)

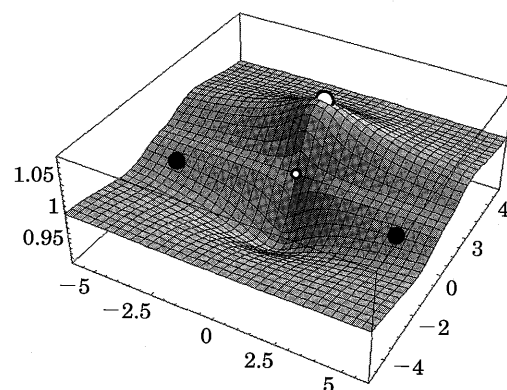
観察者の視点に対して、複数の視野にオブジェクトが存在している場合、まず、それぞれの視野ごとに注視点を決める。そのために、互いに重なり合った領域を持つ各視野ごとに含まれるオブジェクトを決める。次に、各視野内のオブジェクトの加算平均的な位置から、それ



(a) 手前から平行に揃えた場合



(b) 平行になっているところから揃えた場合



(c) 奥から平行に揃えた場合

図21 遠距離的環境における予測結果

ぞれの視野での注視点の位置を決定する。その後、すべての視野の変形関数の線形和によって変形処理を行う。その結果、中央のオブジェク

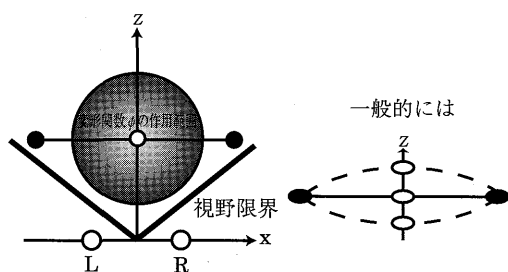


図22 中距離的環境と測定結果の可能性

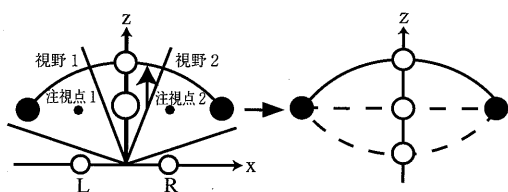


図23 近距離的環境と測定結果の可能性

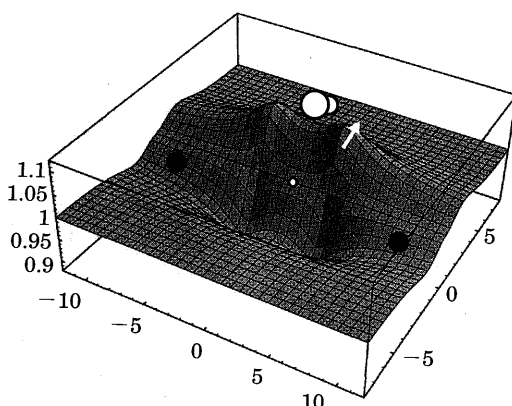


図24 近距離的環境における予想結果

トの変形率が左右のオブジェクトよりも大きくなる (図18, 24)。ここで、対象となるオブジェクトは、心理的に既知なものとして認識されているため、大きさの情報はすべて距離に関する情報となる。その結果、観察者が対象を主観的に同一の距離に並べると、物理的には視点に対して凹状になる (図24)。ただしこの説明も、偶然、視点に対して奥の方から手前に調整した時の説明であり、これまでと同様に、3通りの回答がある可能性は否定できない。ここで、以

上の説明は、線形加算された変形関数が視野の数だけ多峰的になっただけで、遠距離的環境と変わらない。

7-4 新たな評価実験

これまでで、視線の方向を強制しない形式で、局所的に大きさの恒常性に起因すると考えられる、観察者ごとのみえのおおきさの差異を定量的に明確化した。

今後は、これまでと同様に視線の方向を強制しない形式で、一つ視野でシーン中のすべてのオブジェクトを捉えることができない場合の、みえの特性について検討を加える必要がある。とくに、この評価実験で、複数の注目視野に対応した変形関数 ϕ の相互作用が、実用的には線形と考えることができることを検証しなくてはならない。さらに、その実験結果によっては、動的に変化すると考えられる主観的な視野の大きさも、ホロプター様実験の距離 a に相当する量 (図19, 24) から暫定的に推定できる可能性があると思われる。現在は、有効視野 20° から傍中心視 10° 程度の大きさを想定している (図25)。

8. ま と め

ユーザーの多様な個性に対応できる高度なヒューマン・インターフェースに関する基礎技術として、知覚変換を用いた主観的透視投影法を提案した。

まず、プリミティブなオブジェクトを両眼立体視した時に誘導される心象の測定結果を報告し、オブジェクトの位置を変化させずに、その大きさだけを変更する知覚変換について述べた。さらに、そのモデルに必要となる2つのパラメータの決定法を規定し、実際の測定値から決定したパラメータ値を報告した。次に、三次元の両眼立体視から誘導される心象と同等の心象を誘導する二次元透視投影図のデフォルメ量 (大きさの変化量) の測定結果を報告した。そして、三次元空間中のオブジェクトが誘導する心象と同程度のデフォルメを行った透視投影図

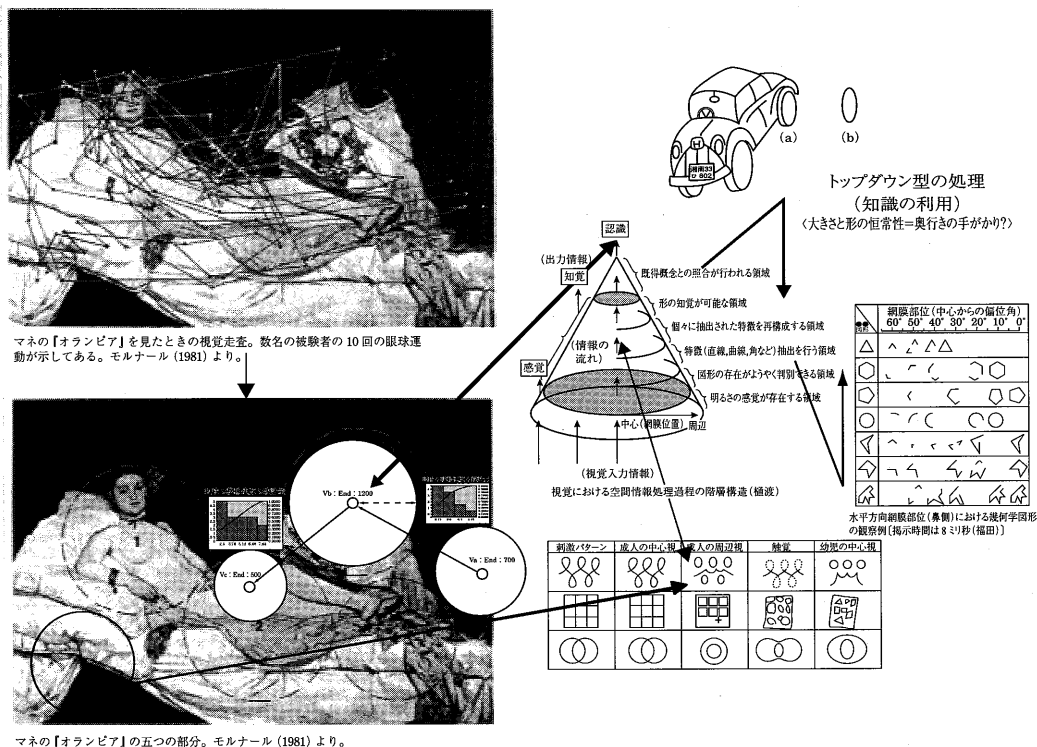


図25 複数の動的視野による、主観的透視投影法のイメージ (図面参照 [4])

が、両眼立体視による心象と近似した心象を誘導することを実験的に検証した。以上から、ユーザーの多様な個性に対応できる高度なヒューマン・インターフェースに関する基礎技術として、三次元オブジェクトの形態が視点に対して持つ幾何光学的像を、個人の主観的心象に近づけるための知覚変換に関する基礎理論を導くことができた。

最後に、知覚変換を拡張する目的で、複数の注目視野に対応した変形関数 ϕ を複数用いた評価実験について検討した。

9. 今後の課題

今後は、本報告で定めた基礎的な知覚変換の相互作用も考慮し、複数のオブジェクトで構成される空間でも適用可能な知覚変換を実験的に評価する必要がある。そのためには、ボケ (多

重解像度) による視野境界の設定や、主観的には同時に存在する複数の注視点の概念などを導入し、それらを実験的に検証する必要があると思われる。また、視対象には、主観的に同等の注意が払われていると考えて、視野内の注視点を決定した。今後は、対象の形状の複雑さや、観察者の主観的関心度などの新たな概念を導入し、より一般的な知覚現象に対応する必要がある。

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、また、創価大学工学部渡部和教授には本研究全体に対する指導を、さらに、上野義人教授には、動画像符号化標準に関して助言をいただいたことに感謝する。

参 考 文 献

- [1] 三木弼一, “MPEG-4 のすべて,” 工業調査会, 1999. 10
- [2] 黒田正巳, “空間を描く遠近法,” 彰国社, 1992. 02
- [3] David F. Rogers, J. Alan Adams, “コンピュータグラフィックス,” 日刊工業新聞社, 1993. 03
- [4] 松田隆夫, “視知覚,” 培風館, 1998. 09
- [5] 印東太郎, “心理学15 数理心理学,” 東京大学出版会, 1969
- [6] 梶谷, 渡部, “主観的な空間表現に関する研究—主観的透視投影法の提案—,” 2000年電子情報通信学会総合大会, A-15-4, pp. 282, 2000
- [7] 梶谷, 渡部, “知覚変換とその実験的検証—主観的透視投影法の研究—,” 2000年電子情報通信学会基礎・境界ソサエティ大会, pp. 225, A-15-1
- [8] 梶谷, 渡部, “知覚変換による Horopter 実験の解釈—主観的透視投影法の研究—,” 日本人間工学会東海支部2000年研究大会論文集, PP. 3-4, 2000. 10