グラフィクスとＣＡＤ　76－9
（１９９５．　８．　１８）

多視点CGの生成と多視点画像の解析

品川 嘉久
東京大学理学部情報科学科

コンピュータ・グラフィクスでは、世界座標から仮想的装置座標の変換には、平行射影または透視射影のどちらかが使われる。いずれの場合も、視点は一つに定められ、視平面へと投影が行なわれる。写真においても、ピントの合っている範囲では、透視投影と同じである。しかし、絵画においては、物体を唯一つの視点から描く透視画はルネッサンス期になってようやく確立され、近代になって再び、崩れていった。本研究では、複数の視点から描かれた絵の画像解析や複数の視点を用いてCGを生成する方法について述べる。

Generation of CG with Multiple Viewpoints and Analysis of Images with Multiple Viewpoints

Yoshihisa Shinagawa

Department of Information Science
Faculty of Science
The University of Tokyo

In computer graphics, either parallel projection or perspective is used to transform a world coordinate system to a virtual device coordinate system. In either case, a single viewpoint is fixed, and objects are projected onto a view plane. In photography, a transformation similar to perspective is performed by a lens so long as the objects are in focus. In paintings or drawings, however, it was not until the Renaissance that perspective using a single viewpoint is established. This paper presents a method of analyzing paintings and drawings drawn with multiple viewpoints and a method of generating CG images with multiple viewpoints.

1　はじめに

コンピュータ・グラフィクスでは、世界座標から仮想的装置座標の変換には、平行射影または透視射影のどちらかが使われる。すなわち、物体上の各点の座標値は、平行射影か透視射影によって、視平面の上に投影される。平行投影は、視点が無限遠にある透視射影と同じなので、本質的には透視射影のみを考えれば良い。いずれの場合も、視点は一つに定められている。

写真においても、ピントの合っている範囲では、透視射影と同じである。だから、フォトリアリスティック・レンダリングにおいては、単一の視点による透視射影が用いられる。

しかし、絵画においては、物体を唯一つの視点から描く透視画はルネッサンス期になってようやく確立された。それ以前の絵には、遠近感はあっても、一つの絵にいくつもの視点で見た物体が描き込まれていたりする。幼児の絵も、そのような絵が多い。ルネッサンス期に、写実絵画として、透視画の手法が確立されたが、近代になって、絵画は完全な透視射影からははずれて行った。キュビスムに至って、単一の視点ではなく、様々な視点から見た物体形状が一枚の絵に描き込まれるようになった。そもそも、物体形状を理解しやすく表すためには、物体をある視点から見て、歪んだ形に見えている形状をそのまま描く透視法より、物体の形の本質が最もよく表れる角度から見て描いたものを組み合わせるほうが、優れた方法なのかも知れない。

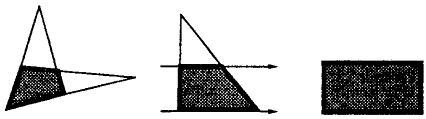
そこで、本研究では、複数の視点から描かれた絵の解析や複数の視点を用いてCGを生成するモデルについて述べる。

2　絵画の視点位置の分析

1枚の2次元画像から、そこに写っている物体の3次元形状を推測して計算し、復元する方法には、物体表面での光の反射の強さから法線方向を計算するshape from shading, 物体の肌理の密度分布などから、奥行き情報を求めるshape from texture、長方形物体の見え方から位置を計算するshape from perspectiveなどの方法がある。それらのうち、絵画を見た時、そこに描かれている3次元の世界を復元するのに使えるのは、shape from perspectiveの手法である。

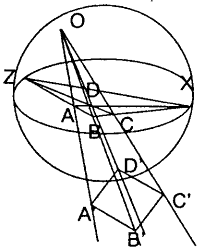
以下、まず、厳密な透視変換によって描かれた絵画・写真を考えることにする。長方形は二組の平行な辺を持っている。透視変換を行なうと、無限に長い平行線の、視平面上での像は、消点(無限遠点の像)で交わる。長方形は二組の平行な辺をもっているので、全部で、二つの消点をもつことになる。ある長方形が、その絵の中に描かれているのと同じように見えるためには、視点の位置は、ある限られた範囲（消点を含む球面上または平面上）にしか存在できない。

簡単に説明すると、長方形$A'B'C'D'$は、見る視点位置Oによって、図1のように、見え方には3つの場合がある。逆に、絵に描かれている長方形$ABCD$が図1のどの場合かによって、視点位置Oは限られてくる。図2のように、場合1では球面、場合2では平面の上にしか存在できない。場合3の場合は視点位置は特定できない。(視点の範囲の求め方については、詳しくは[1]参照。)絵にいくつもの長方形が描かれていると、視点の位置は、各々の長方形の視点存在可能範囲である球面や平面の交わりの部分に限られてくる。

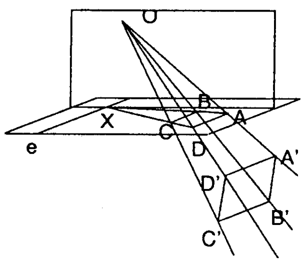


場合 1　　場合 2　　場合 3

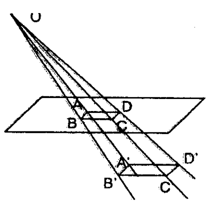
図 1: 長方形像の分類



場合 1



場合 2



場合 3

図 2: 長方形像と視点存在範囲

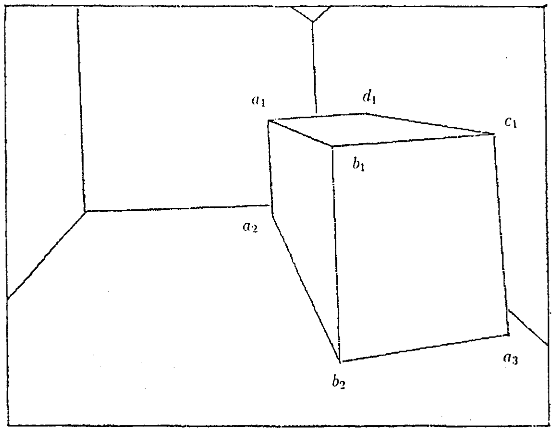


図 3: ゴッホの「アルルの画家の部屋」の絵の中の物体の構造

3　多視点絵画の解析

絵画が、厳密な透視変換からだんだんはずれるに従って、そこに描かれている長方形物体の視点存在可能範囲が一点で交わらなくなる。つまり、そこに描かれている長方形物体が、単一の視点で描かれている可能性はゼロとなり、視点位置が一箇所ではなくなってくる。我々は、これらの視点位置をコンピュータで計算して表示した [3]。

例えば、ゴッホの「アルルの画家の部屋」の絵の中には、単純化すると、図 3のような物体が描かれている。図 3の中の長方形 $a_1b_1c_1d_1$ の視点存在範囲は、図 4の中のほとんど垂直な平面で表されている。図 3の中の長方形 $a_2b_2b_1a_1$ の視点存在範囲は、図 4の中の二枚の水平な平面のうち、上の平面で表され、長方形 $a_3c_1b_1b_2$ の視点存在範囲は、その下の平面で表されている。これら三枚の平面の交わりは空であるから、これらの長方形が単一の視点で描かれていることはあり得ない。

4　不可能物体のトリックの解析

図 5は、オランダの画家 エッシャーが描いた「物見の塔」の構造を単純化したものである。この絵では、二階建

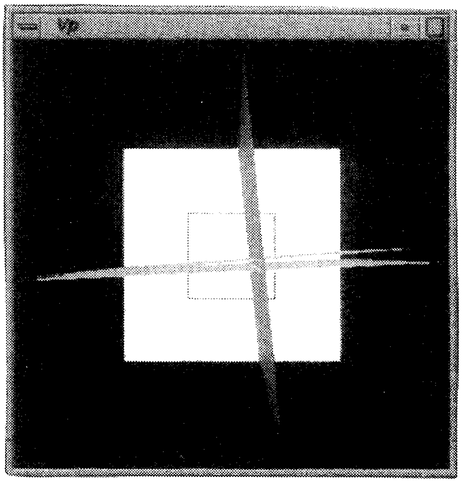


図 4: 図 3の視点存在範囲

ての物見の塔が描かれているが、建物の一階部分と二階部分のつながり方が矛盾している。実際にはそのような物体は存在不可能であり、この絵には、どこかにトリックがある。この物体のように、実際には存在できない物体は「不可能物体」と呼ばれ、その様々なトリックとその数学的解析については、[4] に詳しく解説されている。

図 5に描かれているいくつかの長方形が、そのように見えるための視点位置を計算すると、図 7のようになる。図 5の中の長方形 $a_1b_1c_1d_1$、 $a_2b_2c_2d_2$、$a_3b_3c_2b_2$ の視点存在可能範囲の交わりは空である。図 5で我々が長方形だと思っているものが、同時に長方形に見える視点位置は、実はありえないことがわかる。それぞれの視点存在可能範囲は図 7の三枚の平行な水平面になる。また、図 5の中の長方形 $a_1d_1c_2b_2$ の視点存在可能範囲は、図 7の球面で表される。視点を、図 7の三枚の平行な水平面のうち、真中の平面に定めて、物見の塔を一階部分と二階部分を別々に三次元復元したのが、図 6である。これを見ると、一階部分と二階部分を原画のように接続することは不可能なことがわかる。つまり、一階部分を二階部分をつなぐ部分は、同じ視点から見た長方形ではないことが実感できる。このようにして、エッシャーのトリックを説明することができる。

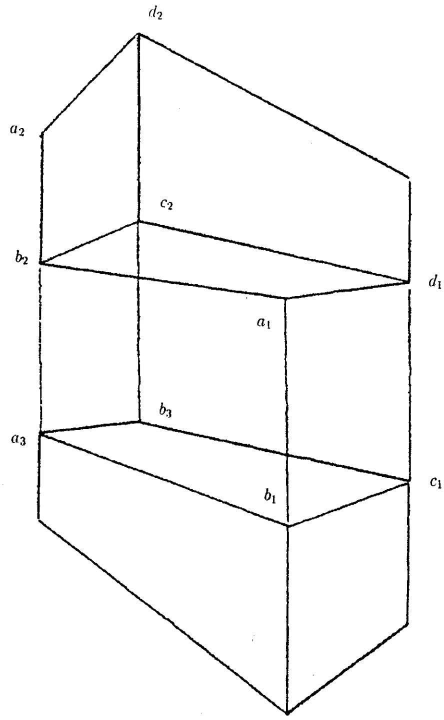


図 5: エッシャーの「物見の塔」の構造

これに対して、ペンローズの三角形 (図 8) と呼ばれている不可能物体の場合はどうであろうか。図 9に、その三次元構造を復元したものを示す。これからもわかるように、ペンローズの三角形においては、本来は同じ位置にないものが、偶然同じ位置に見える視点を用いて描かれている。さらに、本来は後ろにあるものが、本来は手前にあるものを隠すように描いている。これは、Z バッファの隠面処理を逆に行なうことに相当する。図 10に、図 8の長方形物体の視点存在範囲を示す。 視点は、球面の交点に存在することがわかる。

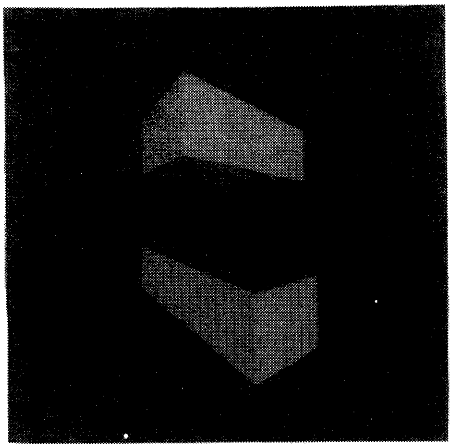


図 6: 「物見の塔」の三次元再構成

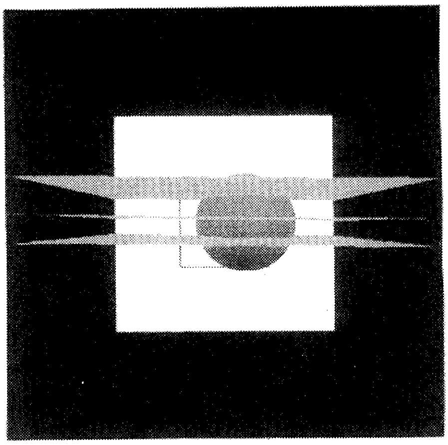


図 7: 図 5の視点存在範囲

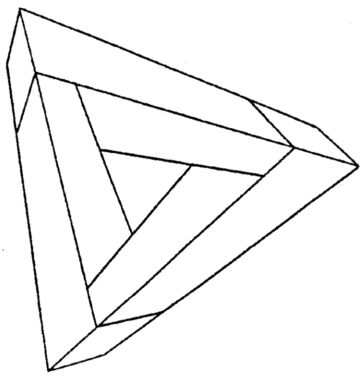
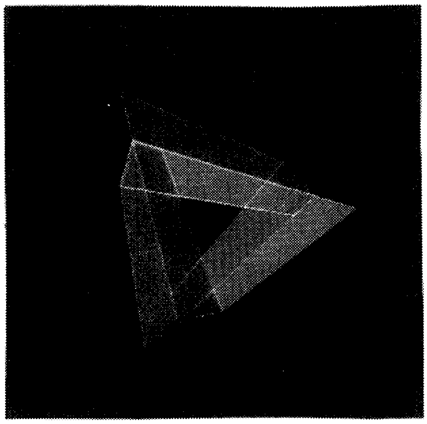
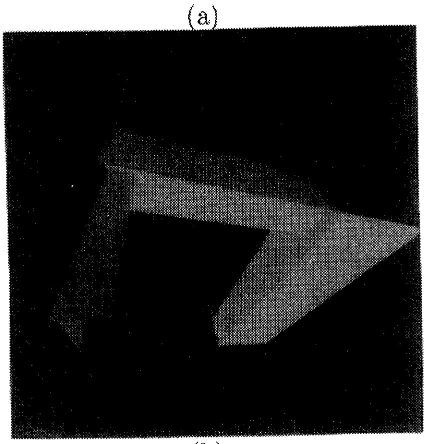


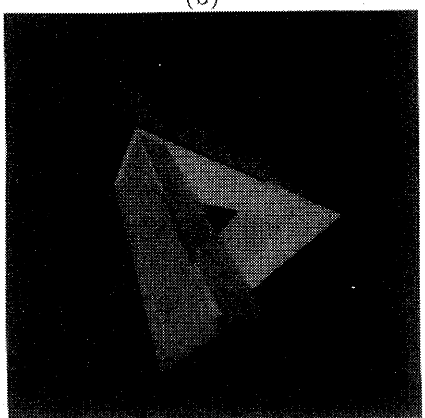
図 8: ペンローズの三角形



(a)



(b)



(c)

図 9: ペンローズの三角形の三次元復元を様々な角度からみたもの

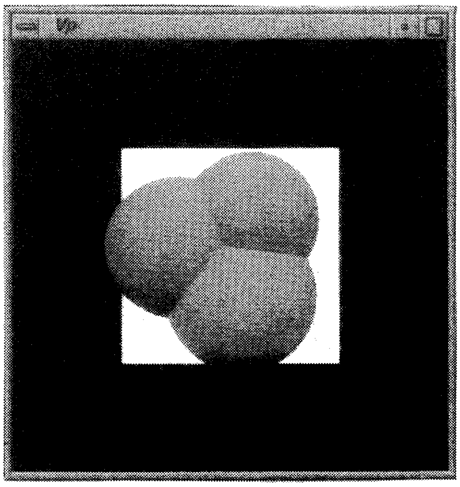


図 10: 図 8の視点存在範囲

5 多視点 CG の生成

我々は、逆に、複数の視点を用いて三次元物体を描くモデルを次のように構成した (図 11)。S を物体表面とする。$\boldsymbol{v}$ を S 上の点とし、$\boldsymbol{O} \in \boldsymbol{R}^3$ を画家が $\boldsymbol{v}$ を視平面に投影するのに用いた視点とする。我々のモデルでは、$\boldsymbol{O}$ は v に依存して変化する。この写像を f と呼ぶことにする。また Π で視平面を表し、$\boldsymbol{v}$ は Π 上の点 $\boldsymbol{w}$ に投影されるとする。このとき、三次元物体は、

$$\begin{array}{rccc} Proj: & S & \rightarrow & \Pi \\ & \boldsymbol{v} & \mapsto & \boldsymbol{w} \end{array}$$

によって表される。ただし、$Proj(\boldsymbol{v})$ は、$\boldsymbol{v}$ と視点 $\boldsymbol{O}(=f(\boldsymbol{v}))$ を結ぶ直線と Π の交点 $\boldsymbol{w}$ である。

我々の研究室では、このモデルを用いて、地形をいくつかの視点で描いたものを滑らかにつなぎ合わせて CG を生成した [2]。例えば、芦ノ湖周辺の地形を、山は麓から、湖は真上からみて描いたものを滑らかにつなぎ合わせるといったことを可能にした。

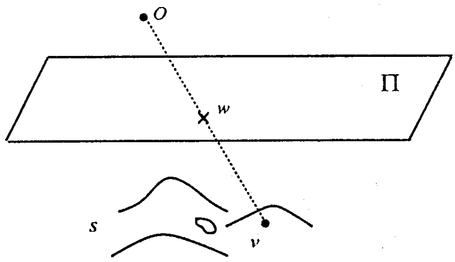


図 11: 多視点 CG 生成モデル

参考文献

[1] F. Hohenberg. *Konstruktive Geometrie in der Technik*. Springer-Verlag, Wien, 1956.

[2] T. L. Kunii and S. Takahashi. Area guide map modeling by manifolds and CW-complexes. In B. Falcidieno and T. L. Kunii, editors, *Proc. IFIP TC5/WG5.10 Second Working Conference on Modeling in Computer Graphics*, pages 5–20. Springer, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong Barcelona Budapest, 1993.

[3] Y. Shinagawa, S. Miyoshi, and T. L. Kunii. Viewpoint analysis of drawings and paintings rendered using multiple viewpoints: Cases containing rectangular objects. In M. Cohen, C. Puech, and F. Sillion, editors, *Proc. Fourth Eurographics Workshop on Renderning*, pages 127–143. Eurographics Association, Aire-la-Ville, 1993.

[4] 杉原厚吉. 不可能物体の数理. 森北出版, 1993.