絵画の奥行き情報に関する考察

5M－9

三吉 佐枝子 [1]　品川 嘉久 [1]　國井 利泰 [2]

東京大学 [1]　会津大学 [2]

1 はじめに

人間は遠近法で描かれた絵画を見て、描かれている物体の3次元位置を推定できる。本研究では、一視点の場合だけでなく、たとえ絵に複数個の視点がある時でも、絵画の視点位置と物体の奥行き情報を分析する方法を提唱する。扱う絵画は、長方形であろうと人間が推定する形を持つ物体(ここでは長方形投影像ということにする)が描かれているものに制限する。画面上に投影されるとその長方形投影像になる物体が、3次元では長方形であるという知識を使うことで、視点位置を計算することが可能になり、長方形の再構成を行なえる。その際、絵画の視点の範囲を分析し、絵画が一視点で描かれたものかどうかの判定も行なう。我々は特に M.C.Escher の作品に代表される錯視をおこす物体を含む絵の分析を行ない、また伝統的な遠近法を用いない近代絵画についての視点の分析も行なったが[4]、ここでは Penrose の三角形[3]として知られる絵の分析を例として示す。

2 関連研究

長方形投影像を見て人間が3次元内の構造を推定できる理由は、長方形が二組の平行辺を持っており、投影像が消点(平行線群が投影面上で収束する一点)を持っているからである。本研究で用いる方法は、[1]の平面図上での長方形の再構成法を参考にして、長方形像とその視点位置との関係について整理し、3次元内に直接再構成を行なう方法を構成して、投影面上の各長方形について適用するものである。やはり、[1]に基づいて、直角多面体の実現問題としてまとめ直したものには[5]がある。また写真機測定では、視点と画面との距離を計算できることが知られているが、写真の場合、視点は画面中央を通り画面に垂直な線上にある。一方、絵画の場合は、視点は画面中央に位置することは期待できず、視点が複数個ある場合もあるので、本研究のように描かれている長方形像から可能な視点群の存在範囲を計算し、奥行き情報を調べることが重要になる。

3 再構成法

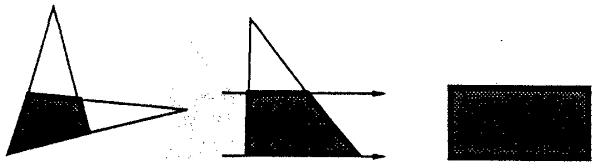

図 1: 長方形像の分類 (左から場合 1、2、3)

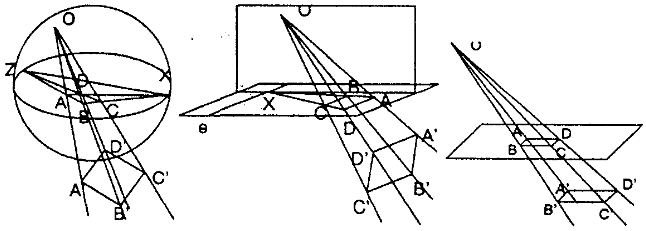

図 2: 長方形像と視点存在範囲 (左から場合 1、2、3)

長方形像から視点存在範囲を計算し、3次元内の長方形の復元することは、ある程度の自由度を含んでいるが原理的には可能である。長方形像は消点の数から次の3つに分類される(図1)。

場合 1 消点が2つある長方形像

場合 2 消点が1つある長方形像

場合 3 消点がない長方形像(長方形像自体が長方形)

この分類の元で、視点存在範囲の制限と元の長方形の位置との関係は次のように整理される(図2)[1]。

場合1の時、視点の存在範囲は2つの消点を結ぶ線分を直径とする球面上であり、元の長方形は視点と2消点から定まる平面に平行である。すなわち、図2において四角形像を A,B,C,D 、消点を X,Z とすると、視点 O は XZ を直径とする球面上に存在し、元の長方形 $A'B'C'D'$ は、O と四角形 $ABCD$ からなる四角錐上の側面を延長して出来る立体を平面 OXZ に平行な平面で切った切口(大きさや辺の比に自由度が残るが)で与えられ、またそれ以外には存在しない。

場合2の時、視点の存在範囲は、1つの消点を通って長方形像の一組の平行辺に垂直な平面上であり、元の長方形は、消点を通って長方形像の平行辺に平行な直線と

A Study of Recovering Depth Information from Drawings
Saeko Miyoshi[1], Yoshihisa Shinagawa[1], and Tosiyasu L. Kunii[2]
The University of Tokyo[1], The University of Aizu[2]

視点から定まる平面に平行である。すなわち、図2で、視点 O は e と垂直な平面内にあり、元の長方形 $A'B'C'D'$ は四角錐 $OABCD$ を延長して出来る立体を O と e から定まる平面に平行な平面で切った切口であり、またそれ以外には存在しない。

場合3の時、視点存在範囲は制限されない。また元の長方形は画面に平行である。紙面の都合上、証明は省略するが、以上は初等幾何的に示すことが可能である。

4 絵画の分析

我々は与えられた長方形像から上に述べた方法に基づいて、視点群の位置を計算するソフトウェアツールを開発した。これは長方形像を指定後、視点存在範囲 (すなわち、球面と平面) を計算して表示し、視点が一点に定まる場合はその点からの復元を、そうでない時は指定した点からの復元を行なうものである。このツールを用いていくつかの絵画について分析を行なった [4]。

まず錯視を生み出す絵の分析について、典型例として Penrose の三角形 (図3) の分析を取り挙げる。この物体を3次元内に実現することは不可能である。この絵を分析すると、視点範囲は3つの球面の共通部分である一点に定まる。復元結果が示す通り、この錯視は同じ場所にない部分をあたかも同じ所にあるかのように描いていることである。つまり先ほどの視点からのみ同じ場所にあるように見え、別の角度から見るともはやつながって見えなくなる。他にも Escher の絵などについて、同様の結果が得られている [4]。

ここでは詳しく示さないが、遠近法を用いていない絵についての分析も行なった。その絵については視点の存在範囲が1つに定まらず、1つの視点から描かれた絵と解釈するのは不可能という結果が得られている [4]。

多視点を用いる絵の生成プロセスは次のように定式化される。図4において v を S 上の点とし O を画家がその点をみる視点とする。このモデルでは、Oはvに依存しており、この写像を f とする。Π を絵画面とする。v は Π 上の w に射影される。すると、絵画の生成過程は次の写像により定式化される。

$$Proj : S \rightarrow \Pi$$

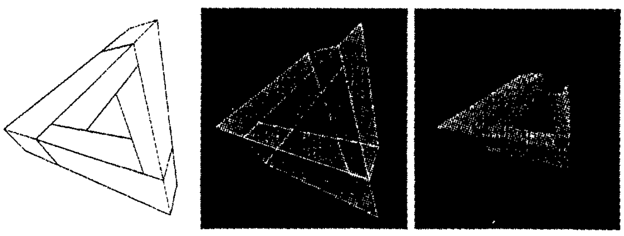

図 3: Penrose の三角形と再構成図

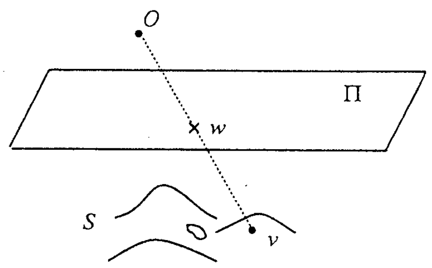

図 4: 多視点の絵画生成プロセス

$$v \mapsto w$$

但し、$Proj(v) = w$ は vと $O(= f(v))$ とを結ぶ直線と Π との交点である。我々は、多視点の絵の別のモデル化として、多様体と CW-compex を用いた研究も行なった [2]。

5 まとめ

本研究では、長方形像から視点存在範囲を計算するツールを開発し、多視点で描かれた絵画などについて分析した。将来課題としては、分析結果と多視点絵画の生成モデルを融合して錯視を起こす絵を合成することや、長方形以外の円などの形を用いることが挙げられる。

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] L. S. Penrose and R. Penrose. Impossible objects: A special type of visual illusion. *British Journal of Psychology*, 49:31–33, 1958.

[4] 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.

[5] 杉原厚吉. 不可能物体の数理. 森北出版, 1993.