

手描き透視図の視点推定とその応用†

近藤 邦雄^{††} 木村 文彦^{†††} 田嶋 太郎^{††††}

本研究では質の高い図を早く容易に得ることを目標とし、手描き透視図から視点推定を行う方法、光源の方向を求める方法、立体再構成法について述べる。従来から行われてきた透視図作画には図学における作画と投影理論を用いた計算手法の2種類がある。これに対し、筆者らは計算機を用いて、立体の骨格の一部を与え、それをもとに透視図を作成する方法を提案してきた。この方法は自分の持つイメージを図化するときに、意図した構図を容易に描くことができるという長所を持っている。本研究では、この方法を利用し、視点位置、光源の方向の推定、および、透視図から3次元データを求める処理を実現すること、さらに、手描き透視図と写真の合成、3次元モデルの陰影付けに応用することを行った。この実験から、求められた3つの消点から視点を推定する計算方法は直線の交点や円との交点計算などを利用し、望む構図の視点座標などが容易に得られること、また意図した方向の影を描くことができ陰影付けへの入力手段として有効であること、立体再構成法は透視図を用いた立体データ入力の有効な方式になる可能性があることを示した。

1. 緒 論

本研究では質の高い図を早く容易に得ることを目標とし、手描き透視図から視点推定を行う方法、光源の方向を求める方法、立体再構成法の計算処理方法とこれらの応用について述べる。

図や絵は3次元形状の情報伝達に非常に有効なものであり、伝えたい情報が図からすばやく理解できることが大切である。本論文では、伝えたい情報が容易に理解できるような図を質の高い図と考える²⁾。

また、本文中で用いる手描き透視図とは、人がタブレットを用いて計算機と対話しながら、作画計算処理を利用し、画面上に任意の点を決定しながら描いた線図による透視図、および、その線図に濃淡付けを行ったものをいう³⁾。したがって、ここで「手描き」とは、人の頭の中にある形状のイメージをもとに、紙面上でスケッチするように描いていく段階において、計算機と対話しながら、画法幾何学の各種の作画法をプログラミングしたコマンドを選択し、表現したい形状を決定するための必要な最小限のデータを入力することによって透視図を描いていくことをいう。本論文では3つの消点を利用し、2次元上で点を指定していくので3次元データを使うことはない。このようなことを可

能にすることは、人に従来の三角定規やコンパスに比べ、透視図作画のための賢い定規を与えたことになる。

従来から行われてきた透視図作画には図学における作画と投影理論を用いた計算手法の2種類がある⁴⁾。

図学における作画は2次元上に立面図、平面図を配置し、いくつもの決められた作画法に従って、手で図を作画する方法である。この方法は図に対して直接指示して変更を行う。常に図を取り扱いながら、図を作り上げていく点で人にとって感覚的に優れた方法である。しかし、紙面上での作画のために不正確となりやすい。投影変換を用いる計算手法は変換行列および3次元データを必要とする。一つの図を得るために、3次元データを用意することは大きな負担といえる。

これに対し、筆者らは計算機を用いて、立体の骨格の一部を与え、それをもとに透視図を作成する方法を提案してきた。この手描き透視図法は次の長所を持っている。

- 1) 形状を決めながら透視図を描いていくので、3次元形状データを必要としない。
- 2) 自分の持つイメージを図化するときに、意図した構図を容易に描くことができる。
- 3) 消点データをもとに、計算機を用いた対話形式の内挿・外挿法、回転法などの作画法を用いて透視図を作画することができる。

本研究では、この方法を利用し、視点位置、光源の方向の推定、および、透視図から3次元データを求める処理を実現すること、さらに、手描き透視図と写真の合成、3次元モデルの陰影付けに応用することを考える。従来これらの応用について次のような問題点があった⁴⁾。

† Estimation of a Point of View with Perspective Drawing and the Application by KUNIO KONDO (Department of Electronics, Tokyo Institute of Polytechnics), FUMIHIKO KIMURA (Department of Precision Machinery Engineering, Faculty of Engineering, The University of Tokyo) and TARO TAJIMA (Faculty of Engineering, Cyubu University).

†† 東京工芸大学電子工学科

††† 東京大学工学部精密機械工学科

†††† 中部大学工学部

1) 写真合成において、人の経験による作画は消点
が作画によって求めにくく、その設定を間違えると不
自然な図になる。

2) 土木建築方面におけるモンタージュパースは空
間上の点と写真上の点を測定したり、連立方程式を解
く必要がある。

3) 3次元モデルを光線追跡法のシミュレーション
法により作画する場合、意図した図を得るために、視
点の位置を試行錯誤で決めることが多く、一つの図を
得るために余分な計算が必要となる。

これらの問題を解決するために、本研究の成果は有
効であり、作画実験から次のことがわかった。

1) 求められた3つの消点から視点を推定する計算
方法は直線の交点や円との交点計算などを利用した単
純なものである。この方法を用いれば、望む構図の視
点座標などが容易に得られる。

2) 意図した方向の影を描くことができ、陰影付け
への入力手段として有効である。

3) 立体再構成法は透視図を用いた立体データ入力
の有効な方式になる可能性がある。

以下、2章では手描き透視図と消点計算、3章では
視点推定計算、4章では光源方向の計算、5章では立
体再構成法、6章ではそれらの手法を用いた作画実験
について述べる。

2. 透視図作画と消点計算

3次元空間内の平行線が透視図上で一点に交わる点
を消点と呼ぶ。図1に骨格と消点の関係を示す。ここ
では、直交3軸である線分 AB, BD, BE の3本と3
次元空間内で線分 AB に直交し、線分 BD に平行で
等しい長さの線分 AC を加えた太い線分で示された
ものを骨格という¹⁾。直交3軸のうち水平面を作る2

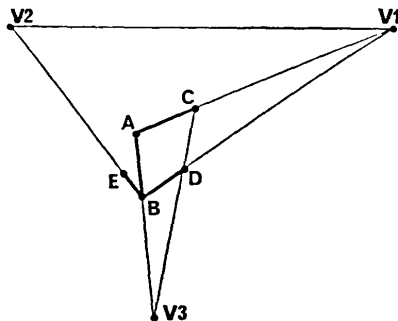


図1 骨格を用いた3消点
Fig. 1 Calculation of three vanishing points with
perspective frame.

軸の消点は画面上で水平線上にあると仮定すると、4
本の線分 (AB, AC, BD, BE) と2つの頂点 (C, D)
を結ぶ線分、V1を通る水平線の合計6本から3つの
消点を決めることができる。実際に人が指定する線分
は骨格の4本の線分であり、線分 CD と水平線は骨
格から求められる。この骨格は透視図の構図を平面
上で決定できるものであり、3次元データを利用する必
要はない。この骨格の形状を決めることにより、人は
意図した構図の3点透視図を描くことができる。

次に、人が入力した骨格から消点を求める計算手順
を述べる。

〈計算手順〉

1) 3次元空間内で平行である2辺 AC, BD の交
点を求める。これが第一の消点 V1である。

2) この消点より水平線 (地平線) を取り、辺 BE と
水平線の交点を求める。これが第2の消点 V2 であ
る。

3) 第3の消点 V3は線分 AB と CD の交点によ
って求めることができる。ここで線分 AB, CD の長
さは3次元空間内で等しい。

この計算法により、図1に示すように骨格から3つ
の消点が規定される。これらの消点を利用すること
により透視図を描くことができる。

この方法は次のような長所がある。

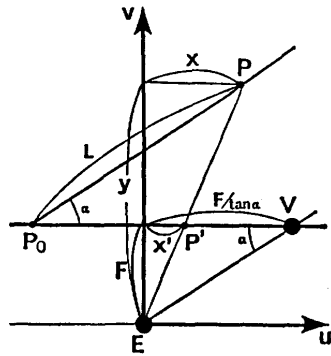
1) これら消点は数値データとして求められるので、
ディスプレイ画面の作画領域に表示される必要がな
く、透視図の作画面積を大きくとることができる。

2) 作画手順をプログラム化したため、消点の座標
計算は線分の交点計算誤差が影響する程度であり、紙
面上に鉛筆などで作画して交点を読み取る誤差に比
べて非常に小さいものである。複雑な形状を描いてい
くときも、得られた消点データをもとに、作画処理の幾
何学的計算を行うことから、描かれた透視図が不自然
に見えるような大きな誤差は生じない。

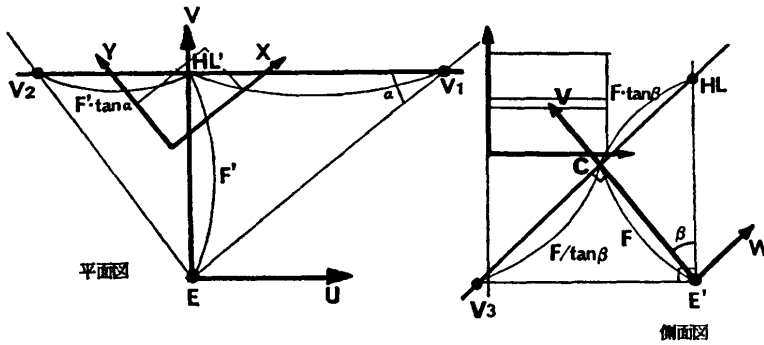
3. 視点推定計算

本章では手描き透視図により求められた消点から投
影中心である視点を求める方法について述べる。

図2(a)は視点Eと消点Vの関係を示したものであ
る。ここでFは視距離である。点Pを含み、角度 α
である半直線Lを考える。このとき点P(x, y)はP'
(x', F)に変換される。この点Pを半直線L上に無限
大の長さをとると消点Vと一致する。これから、直線
Lの消点の座標は(F/tan α , F)となる。



(a) 視点と消点の関係



(b) 視点推定

図2 視点計算

Fig. 2 Calculation of stand position.

(a) Relation of vanishing point and stand position.
(b) Estmiation of stand position.

図2(b)は視点座標系 E-UVW と地上座標系 O-XYZ との関係を示したものである。ここで、視点をE、視軸Vとし、視点Eから線分 V1・V2 に対して直交する線分を引き、その交点を HL とする。HL' は HLの平面図の座標、E' は視点の側面図の座標、F' は視点から HL までの距離を示す。図2(b)は W 軸まわりに α 、U 軸まわりに β だけ傾けた状態を示している。消点 V1、V2、V3 は画面の座標系 C-UW において、次のようになる。

$$\begin{aligned} V1 &= (F'/\tan \alpha, F * \tan \beta) \\ V2 &= (-F' * \tan \alpha, F * \tan \beta) \\ V3 &= (0, -F/\tan \beta) \\ F' &= F/\cos \beta \\ HL &= (0, F * \tan \beta) \end{aligned}$$

で求めることができる。

骨格法で求めた消点の座標を利用し、 α 、 β 、 F を求めることによって視点を推定することを次に述べる。図2(b)に示すように、視点Eは視心Cを原点として固定されているため、これらが求められれば、視点E

の座標は地上座標系と平行で点Cを原点とした座標系で決定できる。

ここで利用する消点の座標は骨格法によって求めた数値データ、画法幾何学の手法によって求めたデータ、さらには、写真から求めたデータでもよい。

消点 V1、V2、V3 が既知のとき、 α 、 β 、 F を求める手順は図2から次のようになる。

〈計算手順〉

1) 線分 V1・V2 の中点を求め、中点を中心とし、直径を V1・V2 とする円を作画する。

2) HL' から線分 V1・V2 に対する垂線を引き、円と垂線の交点Eを求める。

3) 線分 E・HL' と線分 HL'・V1 より、角度 α を求める。

4) 角度 β も同様に点 HL、点 V3 を通る円より求める。

図2の平面図、側面図を利用して、そこに与えられた直方体を、画法幾何学の手法によって透視図に描いたものが図3である。図3で利用した視点データと、骨格から計算された消点をもとに得られた視点データを比較する。図2の視点データ (α 、 β 、 F) を図から読み取ると、 38° 、 -41° 、 214 である。タブレットよりこの直方体の骨格を入力し、前述の計算手順により得られた α 、 β 、 F は 38.6° 、 -42.8° 、 214.3 である。

これからわかるように図法によって透視図を描くための α 、 β 、 F と骨格法によって計算された α 、 β 、 F は誤差は少なく、描かれた透視図は一致して見える。また、透視投影変換を利用して、視点の座標値のかわりに、 α 、 β 、 F を利用して描いた透視図から骨格を入力

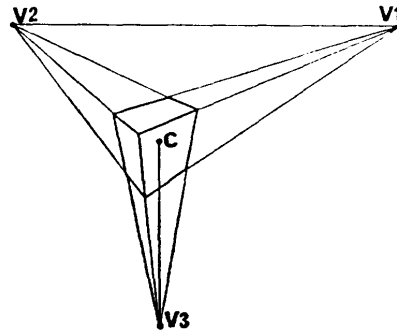


図3 直方体の透視図

Fig. 3 Perspective drawing of rectangular parallelepiped.

し、 α, β, F を求めた結果も、与えた α, β, F とほぼ一致することが確かめられた。以上のことから、消点を利用すれば、描かれた透視図から視点データを求められることがわかる。

骨格から透視図を描き視点を求める場合は、誤差は線分の交点計算だけであるが、写真から平行線を選択し、視点計算するときには、平行線の入力誤差によって大きく視点の位置が変化する場合がある。

4. 光線方向の計算

筆者らは意図した方向の影を描くために、立体の一边の影の方向を示す方法を提案した⁹⁾。この一边は、任意の方向を透視画面の2次元上で指定できる。図4に示すように、この方法では入力した線分の消点 S_a, V_a を求め、さらに、透視図上の直方体の各頂点とこの2点を結ぶ2本の線分の交点から立体全体の影の形状を決定した。本章ではこの方法をもとに透視図の影から3次元空間の光源の方向を求める方法を示す。図4にこの作画計算手順を示す。ここでは、直方体の一边 AB に対応する影の一边 $A'B'$ を入力し、光線方向である方位角 α 、仰角 β を求める。

〈計算手順〉

- 1) 線分 $A'B'$ と線分 $V_1 \cdot V_2$ の交点から平行光線の消点 S_a を求める。角 $V_2 \cdot S_a \cdot E$ は実角となり、方位角 α を表す。
- 2) 線分 $A \cdot A'$ と線分 $S_a \cdot V_3$ の交点 V_a を求める。
- 3) 線分 $S_a \cdot E$ を半径とする円と線分 $V_1 \cdot V_2$ の交点 S_b を求める。これは線分 $S_a \cdot E$ を回転し、立面図とする操作である。(E: 平面図上の視点の座標)
- 4) 角 $V_a \cdot S_b \cdot S_a$ は実角を表しており、仰角 β となる。

この作画法に従い計算を行えば、影の方向を与えることにより、意図した影付けを行うことができ、さら

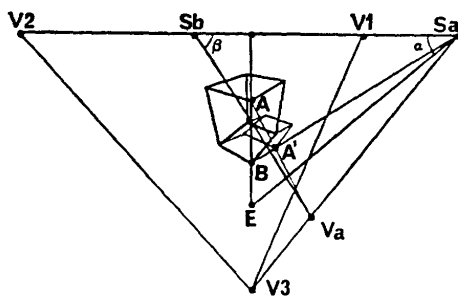


図4 光源方向の推定
Fig. 4 Estimation of ray direction.

に、3次元空間内での光線の方向も求めることができる。

5. 立体再構成法

5.1 内挿, 外挿技法

3次元空間で平行である線を透視図として表現するとき、また3次元空間で等しい長さを透視図上にとるとき、内挿・外挿技法は有効なものである。与えられた線分に対する割合を入力することによって、各辺の内部の点や延長した点を求める手順を図5に示す。ここでは長方形 $ABCD$ が与えられているとき、同一平面上にこの長方形と3次元空間内で同一形状のものを外挿操作によって求められることを示す。このとき、人は同一形状の長方形を一边 BC に接するように入力することを指示するだけで、次に示す計算手順によって自動的に長方形 $BCHG$ を得ることができる。

〈計算手順〉

- 1) 線分 DC に平行な線を点 A を通るように設定し、この平行線と線分 DB の交点 E を求める。
- 2) 線分 AB 上に線分 AE と同じ長さを点 E からとり、点 F とする。 AE と EF は等しい長さである。
- 3) 線分 FD と線分 AB の交点を G とする。
- 4) 線分 $V_2 \cdot G$ と線分 DC の交点を H とする。

以上によって得られた長方形 $BCHG$ は長方形 $ABCD$ と3次元空間で等しい大きさである。

5.2 立体再構成

手描き透視図が与えられたとき、この2次元的な情報から、描かれている立体の辺の長さの比を求め、この得られた比に対して、任意の一边に実際の長さを与えることによって、描いた立体の形状を求めることを立体再構成という。このために、前述の内挿・外挿技法と逆の手順によって立方体に対する直方体の各辺の

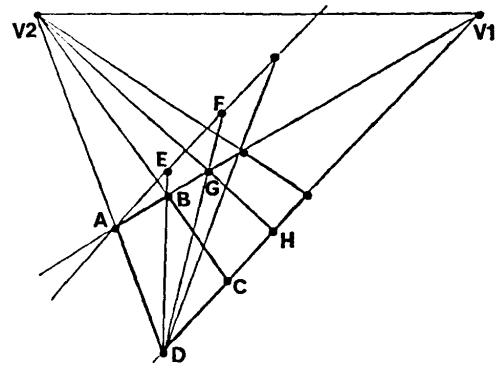


図5 内挿・外挿の方法
Fig. 5 Interpolation method.

長さの比を求めることが必要である. ここでは, 図6に示すように, 線分 AB を1とする立方体に含まれる直方体の線分 AB に対して線分 AF の比を求める手順を示す.

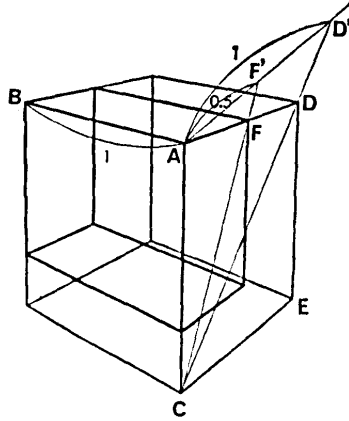
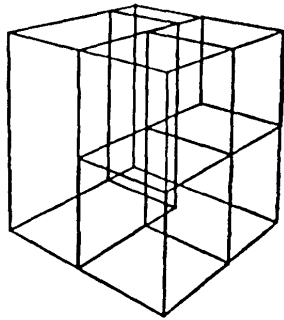
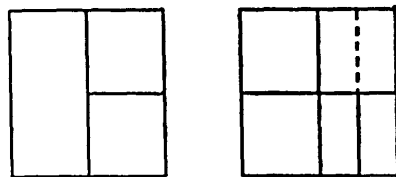
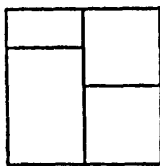


図6 透視図からの立体再構成
Fig. 6 Reconstruction of 3-D model with perspective drawing.



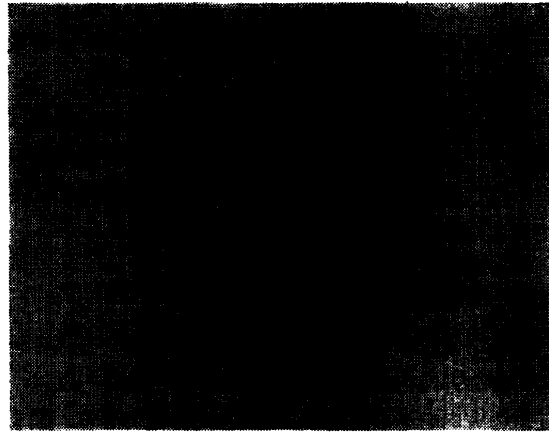
(a) 手描き透視図



(b) 再構成した立体の3面図

図7 作画例

Fig. 7 Example of reconstruction.
(a) Perspective drawing.
(b) Principal views.



(a) 影の方向決定



(b) 濃淡図形



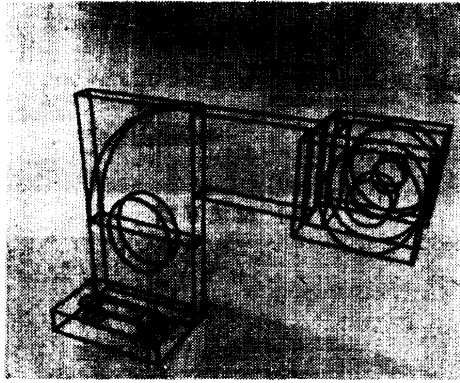
(c) 完成図

図8 影付けと濃淡図形

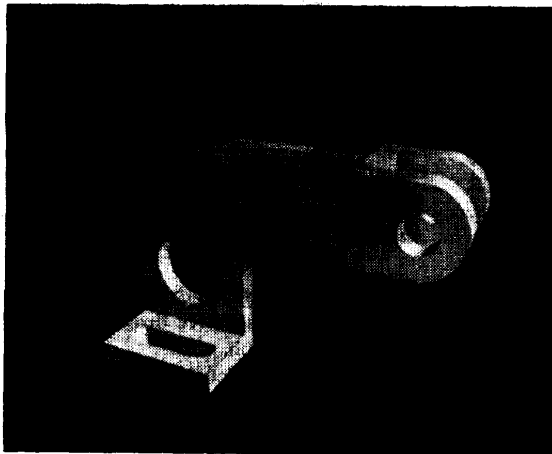
Fig. 8 Example of shadowing.
(a) Input of direction of shadow.
(b) Output of shading picture.
(c) Finished picture.

〈計算手順〉

- 1) 線分 CE に平行な線を点 A から引く。
- 2) この線と線分 CD との交点を D' とする。
- 3) 線分 CF と線 AD' の交点 F' を求める。
- 4) 線分 AF' と線分 AD' の比を求める。ここで線分 AD' 上の長さの比と 3 次元空間内の長さの比、つ



(a) 手描き透視図



(b) 光線追跡法による出力

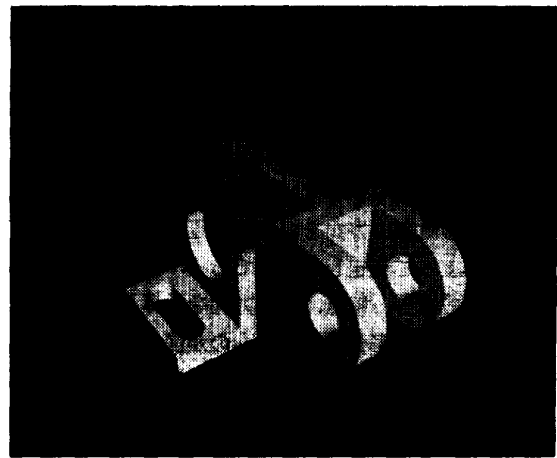


(c) ハイライト線の追加

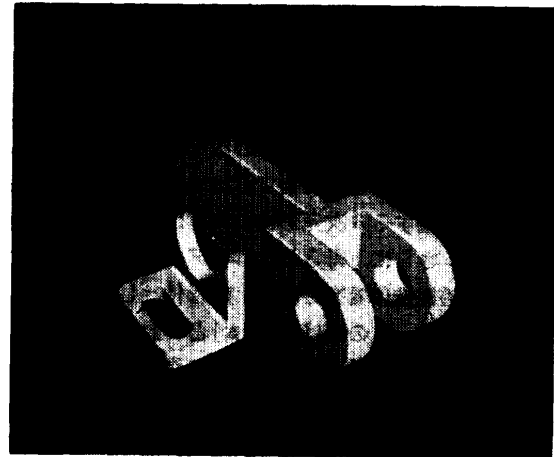
まり線分 AF の線分 AD の長さに対する比は一致する。したがって点 F は線分 AD を線分 AF' と AD' の比に分割したことになる。この例では線分 AF' : AD' の比は 0.5 : 1 であるので、線分 AD を二等分した点が F である。同様な手順によって他の辺の比も求めることができる。

以上からわかるように、3 辺の長さの透視図上で与えて作画した直方体の 3 次元空間内の比を求めることができる。

図 7 は手描き透視図と、描かれた立体を再構成して作画した 3 面図である。始めに計算機を用いて手描き透視図法で、図 7 (a) を描き、立体の頂点の接続を決



(d) 方向の変更



(e) ハイライト線の追加

図 9 手描き透視図の立体再構成

Fig. 9 Reconstruction with perspective drawing.

- (a) Freehand perspective drawing.
- (b) Output of ray tracing method.
- (c) Addition of highlight line.
- (d) Movement of stand position.
- (e) Addition of highlight line.

定しておく。そして、上述の計算により各辺の長さの比を求め、一辺の長さを与え頂点座標を求め、3面図としたものが図7(b)である。

次に立体再構成で求めた3次元モデルを利用して濃淡表現することを考える。手描き透視図から前述の方法により、視点データが既知となる。また、3次元モデルの大きさを指定することにより、その位置・大きさは比例関係によって求められる。これらを利用すれば、手描き透視図に描かれた形状と一致する3次元モデルが作成でき、その濃淡表示を行うことができる。

6. 作画実験

1) 影付け

影の消点から3次元的な光線の方向を求めた例を図8に示す。始めに骨格を入力し透視図の構図を決め、次に骨格をもとに柱体の側面の頂点座標と長さをタブレットから与え、柱体の透視図を自動的に描いたものである。図8(a)は、この柱体に対して、透視図上で意図した影の方向を立体の一辺の影方向を入力することによって決定したものである。この図をもとに立体再構成をし、視点、光線方向を計算し、3次元処理によって陰影付けをしたものが図8(b)である。そして濃淡付け、マッピング手法を用いて図8(c)を作画した。

2) 立体再構成

手描き透視図の形状に一致する3次元モデルを作成し、その濃淡表示を行った例を図9に示す。図9(a)は手描き透視図法により計算機を用いて対話的に直方体や円柱を作画したもので、これをもとに立体再構成を行い、各線の長さの比を求めることができる。このデータを望む大きさに変換するために、一辺の長さを入力し、希望する3次元形状の大きさと視点の関係を計算した。さらに、得られた形状データ、視点データを入力し透視投影変換を行い、陰影付けしたものが図9(b)であり、この図は図9(a)と一致する大きさである。これに濃淡付け機能を用いて修正したものが図9(c)である。図9(d)、(e)は見る方向を変えた例である。このように、一度3次元データを作ると、そのデータをもとに構図を変えた図を容易に作成できる。

3) 写真合成

消点計算の条件を満たした6本の線が写し込まれている1枚の写真が与えられれば、これらの線から3つの消点が計算できるので、写真に一致した図を描くこ



(a) 環境写真



(b) 完成図

図10 写真への3次元モデルのはめ込み
Fig. 10 Montage perspective drawing.

- (a) Photograph.
(b) Finished pictures.

とが可能である。この方法により、空間上の点を測定することなく、また従来の手作業による不正確性も解決される。

図10はモンタージュ写真の例である。図10(a)は画像入力した写真である。この中にある平行線をディスプレイ上で選択することによって、消点を計算する。そして物体の既知の長さ、ここでは、窓一辺の長さを決めることにより、写真を撮影したときの視点位置と作画するモデルの位置、大きさを計算する。このデータを利用し、透視投影変換を行い、陰影付けしたものが図10(b)である。

7. 結 言

本研究では、手描き透視図を用いて、消点の位置計算、視点位置・光源の方向の推定、および、透視図か

ら3次元データを求める処理方法を実現した。そして、次の結果を得た。

1) 骨格となる6本の線分をもとに3つの消点を計算し、それをもとに透視図作画したり、写真に手描き透視図を合成したりすることが可能となった。

2) 求められた3つの消点から視点を推定する計算方法は直線の交点や円との交点計算などを利用した単純なものである。この方法を用いれば、望む構図の視点座標などが容易に得られる。

3) 光源の方向を手書き透視図に指定した影の方向から求めることを考えた。これから3次元モデルの表現にこのデータを用いることにより、意図した方向の影を描くことができ陰影付けへの入力手段として有効であることがわかった。

4) 手描き透視図をもとにした立体再構成法の基本的考え方を述べた。これは透視図を用いた立体データ入力の有効な方式になる可能性がある。

参 考 文 献

- 1) 永田：イメージ パースペクティブ デザイン，美術出版社，東京（1979）。
- 2) 近藤，木村，田嶋：インタラクティブレンダリングシステムによる3次元形状の表現，情報処理，Vol. 26, No. 11, pp. 1401-1408（1985）。
- 3) 近藤，木村，田嶋：レンダリングのための対話型透視図作画手法，情報処理学会グラフィクスとCAD 研究会，22-5（1986. 7. 11）。
- 4) 近藤，田嶋：モダングラフィックス，コロナ社，東京（1982）。

（昭和62年12月4日受付）

（昭和63年5月10日採録）



近藤 邦雄（正会員）

昭和29年生。昭和53年名古屋工業大学第Ⅱ部機械工学科卒業。昭和63年東京大学工学博士。昭和48年より名古屋大学教養部図学教室勤務。昭和63年より，東京工芸大学工学部電子工学科講師。コンピュータグラフィクス，マンマシンシステムの研究に従事。著書「モダングラフィックス」。日本図学会，精密工学会，日本設計製図学会などの各会員。



木村 文彦（正会員）

昭和20年生。昭和49年東京大学大学院博士課程修了。同年電子技術総合研究所パターン情報部入所。昭和54年より東京大学工学部精密機械工学科助教授。昭和62年より同教授。マン・マシン・システム，コンピュータ・グラフィックス，形状モデリング，CAD/CAMなどの研究に従事。工学博士。IFIP-WG 5.2-5.2-5.3 委員。精密工学会，日本機械学会などの各会員。



田嶋 太郎（正会員）

大正12年生。昭和20年東京大学工学部卒業。工学博士。昭和38年より名古屋大学教養部図学教室，助教授・教授。昭和62年より中部大学教授。コンピュータ図学，設計製図などの研究に従事。「自動製図システム」，「コンピュータ図学」，「モダングラフィックス」ほか数編の著書。日本図学会，日本設計製図学会各会員。