

15 3次元データの処理

15.1 3次元データの取得

3次元データは、立体的な形状を表すデータであり、さまざまな分野で利用されます。例えば、建築の分野では、建物の形状のデータは3次元データになります。また、従来、地図は2次元の紙のものが主流でしたが、現在の地理情報システムでは、高さ情報も含んだデジタル化された3次元の地図が広く利用されるようになってきました。また、画面が飛び出して見える3Dの映画や、3次元ポリゴンで描画されたゲームなど、娯楽の分野でも3次元データは利用されています。また、医療の分野では、患者の体内を3次元的にとらえ、手術の準備のために、自由な方向から患部を観察するといったことも行われています。化学の分野では、タンパク質の立体構造を調べる場合など、さまざまな場面で3次元データは利用されています。

まず、このような3次元データを取得するための方法について見てみましょう。3次元の形状や位置を推定するための方法としては、さまざまな方法が提案されています。Shape from Shadingは、物体の陰影（Shading）を利用して3次元形状を推定する方法です。例えば、全体が同じ明るさの円あれば、それは、平面のように見えますが、光源の方向が明るく、その裏側が暗くなるような陰影が付いていれば球に見えます。Shape from Textureは、物体表面の模様（Texture）を利用して3次元形状を推定する方法です。例えば、正方形が規則正しく並んだ格子模様は、平面のように見えますが、上側ほど幅を狭くしてやると、あたかも奥行きがあるように見えます。Shape from Focusは、焦点距離（Focus）を利用して3次元形状を推定する方法です。ピントを変えながら画像を撮影し、画像の部分ごとにピントが合う位置を探すことで、部分ごとに距離を推定することができます。Shape from Silhouetteは、物体の輪郭（Silhouette）を利用して3次元形状を推定する方法です。例えば、カメラで撮影した画像に何か丸い輪郭が写っていた場合、確実に言えることは、視点とこの物体の輪郭を結んだ円錐形の領域の中に物体が存在するということです。同じ物体を複数の方向から撮影した場合、物体は、複数の円錐形領域の重なる部分に存在すると考えられ、物体の形状を絞り込むことができます。Shape from Stereoは、ステレオ画像を利用して3次元形状を推定する方法です。ステレオ画像とは、2台のカメラの位置を少しずらして撮影した画像です。人間は、左右の目の位置の違いにより、左右の目で見ているものに視差が生じますが、この視差の情報は、物体までの距離を把握するために利用できます。

これまで述べたようなカメラで撮影した画像をもとに距離を推定する方法は、受動的な方法です。一方、レーザー光を物体に向かって投影するなど、能動的な方法で、距離を求める方法もあります。スポット光投影法は、レーザー光を、2次元的に投影位置を変えながら物体に当てていきます。そして、それを別の位置のカメラで撮影します。スポット光の位置とレーザーの光源、カメラ位置を結ぶことで、三角測量の原理により、物体までの距離を計算することができます。スポット光投影法は、簡便な方法ですが、点単位で物体の距離を計測することから、測定に時間がかかるという問題点があります。

スリット光投影法では、スリットを通して、縦一本の光を物体に当ててやります。このスリット光を左右にスキャンしながら、物体までの距離を計測します。高さごとにスリット光により、光る位置は変わりますが、ある高さでは、物体に当たる光は一点になります。このため、それぞれの高さごとに、三角測量の原理で距離を求めることができます。比較的安価な3Dスキャナなどでも利用されている方法です。

レーザー光を物体に当てて、反射してくる光の時間差や位相差により距離を計測する方法もあります。この方法は、大型の構造物を計測する場合などに有効な方法になります。ただし、他の手法に比べて、装置が大型で高価になるという問題もあります。

以上のように、手法によって長所や短所はありますが、さまざまな手法によって、3次元形状データの取り込みを行うことができます。

15.2 3次元データの表示

コンピュータグラフィック（CG）のうち、特に3次元（3D）を扱うのが3DCGになります。3DCGでは、まず、3次元オブジェクトを定義するモデリングが行われます。3次元データを表現するための基本的なモデルとしては、ワイヤーフレームモデル、サーフェスモデル、ソリッドモデルがあります。

ワイヤーフレームモデルでは、針金のような細い線により3次元オブジェクトが表現されます。ワイヤーフレームモデルは、表現力は高くはないものの、データ量が小さく、コンピュータによる処理を高速に行えるという利点があります。

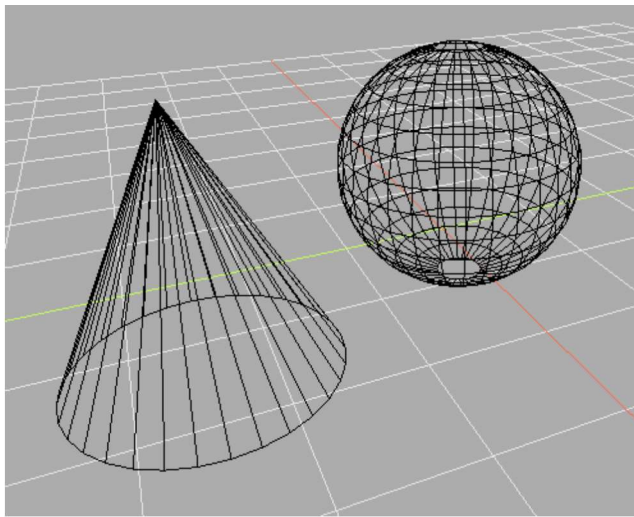


図15-1 ワイヤフレームモデル

サーフェスモデルでは、3次元オブジェクトを3角形や4角形といったポリゴン（多角形）で表現します。サーフェスモデルは、いわば、ワイヤフレームモデルの骨格に薄い膜を張り付けたようなものであり、その表面のみがデータとして記述されています。

ソリッドモデルは、サーフェスモデルと違って、その内部もデータ化されています。このため、内部と外部の区別を行うことができます。内部と外部の区別があることで、複数のモデルを演算により組み合わせ、より複雑な形状を表現することができるという利点があります。演算を行う際に利用される球、直方体、円柱、円錐といった基本的な形状はプリミティブと呼ばれます。プリミティブを組み合わせるための演算としては、論理和、論理差、論理積などがあります。論理和は、2つの形状のどちらかに含まれる部分を選び出す演算です。例えば、球と円錐の論理和をとることで、円錐の頭に球が着いたチェスの駒のような形状を作ることができます。論理差は、ある形状から、別の形状に含まれる部分を取り去る演算です。論理積は、2つの形状のどちらにも含まれる部分を求める演算です。このような演算を組み合わせることで、さまざまな形状を作り出すことができます。

ここまででは、3次元の形状をどのように作るかについてお話ししました。しかし、実際にそれらの3次元形状がどのようなものかを見るためには、3次元モデルから目に見える画像に変換してやる必要があります。3次元モデルから、実際に見ることができる2次元画像を作成する処理はレンダリングと呼ばれます。レンダリングには、シェーディング、マッピング、隠面処理といった処理が含まれます。

シェーディングは、3次元モデルに対して、陰影を付ける処理です。一般的に、物体の表面では、光が当たった場合、鏡面反射や拡散が起きます。鏡面反射は、入射光が特定の方向にのみ強く反射するもので、金属の表面などで強く現れるものです。拡散は、あらゆる方向に同じ強さで光が反射するもので、例えば、すりガラスなどで見られるものです。明るさは、入射光と面との角度によって決まります。また、これ以外に、周囲の物体などに幾度も反射されることにより、あらゆる方向からほぼ均一にやってくる光の成分があり、これは環境光と呼ばれます。これらを足し合わせたものとして物体の表面の明るさが決定されます。

シェーディングの手法としては、フラットシェーディング、グローシェーディング、フォンシェーディングなどがあります。フラットシェーディングでは、まず、3次元オブジェクトを構成する各ポリゴンの中心の傾きを求めます。そして、入射光と面の傾きの情報などから、その点での明るさを求めます。そして、その明るさをそのポリゴン全体の明るさとしします。フラットシェーディングは、計算量が比較的小さいという利点があります。反面、ポリゴンごとに明るさが変わるため、ポリゴンの境目が目立つという問題があります。一方、グローシェーディングやフォンシェーディングは、なめらかな陰影を実現できます。このようなシェーディングは、スムーズシェーディングと呼ばれます。

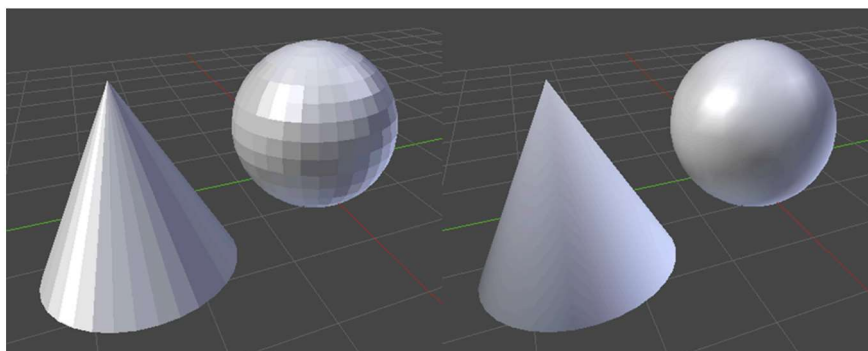


図15-2 フラットシェーディング（左）とスムーズシェーディング（右）

これまで述べてきた陰影付けを行うシェーディングに対して、物体に影を付ける処理はシャドウイングと呼ばれます。例えば、一点から光が放たれる点光源の場合、物体に遮られた部分には暗い影である本影のみができます。一方、光源が大きさを持つ場合、全く光が当たらない本影以外に、光の一部のみが遮られる半影ができます。このように、影は、光源の種類によって変わってきます。

物体の表面に模様などの画像を張り付ける処理は、テクスチャマッピングと呼ばれます。これにより、金属や木といった質感の表現ができ、より自然な物体の表現が可能になります。また、バンプマッピングでは、物体表面の凹凸を表現するための画像を用意することで、擬似的に凹凸を表現することができます。3次元モデル上で実際に凹凸を作るわけではないので、少ない計算量で、物体の凹凸を表現することができます。

複数の物体を表現する場合、その前後関係や相互の影響を考慮することも必要になります。例えば、2つの物体が重なっている場合、隠れている部分を表示しないといった処理が必要となります。このような処理は隠面処理と呼ばれます。

Zバッファ法では、Zバッファと呼ばれる視点からの距離を保存するためのバッファを利用し、手前のデータのみの描画を実現します。Zバッファ法は、アルゴリズムが簡単でハードウェア化がしやすいという利点があります。スキャンライン法では、視点と作成しようとする画面の水平線（スキャンライン）が構成する面と、ポリゴンとの交線を計算します。これらの線分は、一般に複数存在しますが、それらのうち、最も手前にあるものだけを表示することで隠面処理を実現します。

透明な物体の屈折などを表現したい場合、レイトレーシングが用いられます。レイトレーシングでは、視点と作成する画面上の点とを結ぶ光が、反射、屈折により、もともとどの方向から来たか経路を逆にたどっていきます。そして、最終的に光源に達した段階で、作成する画面上の点の色や明るさを決定します。レイトレーシングは、Zバッファ法などに比べて、より高品位なCGを作成することができます。

3次元空間を記述するための言語としては、例えば、VRML（Virtual Reality Modeling Language）があります。図15-3は、VRMLの例を示しています。VRMLはテキストデータですので、通常のテキストエディタで編集することができます。拡張子は、wrlとしてファイルを保存します。作成したVRMLファイルは、VRMLのビューアを用いることで表示することができます。図15-3のVRMLを表示させると、図15-4のようになります。ビューアの機能により、ユーザは、表示された3次元空間に対して拡大・縮小、水平移動、回転などの操作を行うことができます。

```
#VRML V2.0 utf8
Background { skyColor 0.8 1 1 }

Transform{
  translation -1.2 0 0
  children [
    Shape{
      appearance Appearance{
        material Material{ diffuseColor 0 0 1 }
      }
      geometry Cone {
        bottomRadius 1
        height 1.5 }
    }]
}

Transform{
  translation 1 0 0
  children [
    Shape{
      appearance Appearance{
        texture ImageTexture { url "x1.jpg" }
      }
      geometry Box{ size 1.5 1.5 1.5}
    }]
}
```

図15-3 VRMLの例

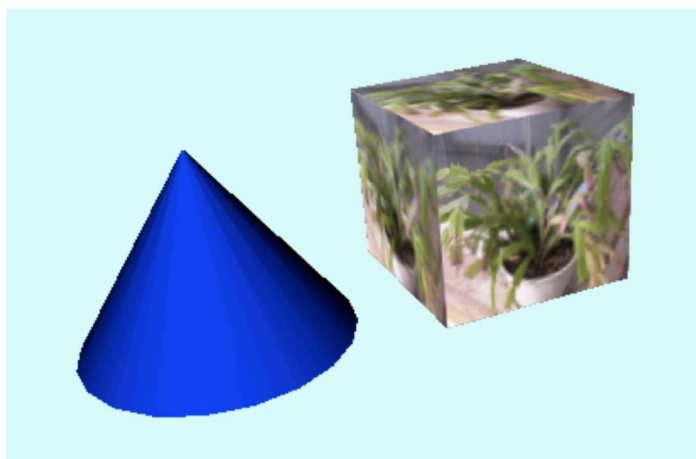


図15-4 VRMLの表示例

