

多面体表現を基礎とする断ち落としと挟り取りによる立体モデリング

8 K-7

石原亘

京都芸術短期大学 映像研究室

あらまし 庭石の形態情報を管理するシステムを開発している。このシステムの実現にあたり、図形の形態を4面体の結びとして表現するモデルを採用した。このモデルを用いると、形態への操作として重要な断ち落とし・挟り取りの操作やレンダリングが効率よく実現できる。

キーワード グラフィックス、図形モデル、レンダリング、4面体、B-rep、CSP、景観シミュレーション、庭石

0 始めに

筆者のグループは、桂離宮の景観維持および調査分析を目的として、景観シミュレーションのため庭園を構成する諸要素の形態とその配置のデータ化を行っている。桂離宮庭園は、地形・建築物・植栽・石・園外環境などの要素から構成されている。特に石に関しては、現地で個々の対象について複数の方向から写真を撮影し、それを計測してデータ化を行う予定である。

以上の背景のもとに、庭石の多くに共通して見られる形態の特徴を活かして、軽くて十分な性能を発揮する庭石情報管理システムを構築することにした。

1 庭石の形態

日本庭園には造形要素として多くの庭石が含まれている。踏み石や石灯籠も広い意味では庭石と考えていい。現地での観察によって、桂離宮の庭石には以下のような形態の特徴があることが分かった。

○庭石については、表面が複数の平面分で覆われた、面取りされた形態が好んで用いられる。踏み石では機能による制約からこの傾向がさらに強い。石灯籠では曲面を意識させる面も用いられる

○ほぞや窪みが掘られた石がしばしば用いられる。桂離宮では特にこのような形態の石が特に好んで用いられている。

システムの設計に当たっては、このような対象の特徴を性能の向上に生かすことが可能である。

2 4面体モデル

立体をどのような情報構造と見なすかによってその表現や操作のメソッドは決定される。立体形状を把握する枠組みとして

は、B-rep・局面パッチ・CSP・ボクセル・8ツリーなどが用いられている。しかし、庭石情報システムの実現にはどれも十分ではない。この章では、新たに4面体を基礎とする図形モデルを提案する。

3次元空間に配置された互いに独立な $r+1$ ($0 \leq r \leq n$) 個の頂点が張る有界領域を(3次元空間における) $r+1$ 次単体とよぶ。すなわち、0~3次の単体はそれぞれ点・線分・3角形板・4面体である。これらの単体に包まれた立体を(3次元)多面体とよぶ。多面体は、集合としては複数の4面体(0~2次単体も4面体が退化したものと考えられる)の結びに分解できる。曲面で被われた領域も多面体で近似することによっていくつかの4面体の結びで表せる。4面体モデルとは、このように物体の形状を4面体の結びで表現しようとする考え方である。庭石はほぼ多面体であると見なしていいので、4面体モデルに基づいて自然に表現することができる。

4面体モデルにおいては、図形を $\{0..3\}$ の4本の線形リストの配列で表現する。これらのリストは、それぞれ多面体に含まれる0~3次元単体の属性のレコードを単体ごとに並べたものである。

ここで報告するシステムの目的にとって特に重要なのはリスト $\{2\}$ とリスト $\{3\}$ である。リスト $\{2\}$ は表面(正確には表面を3角形に分割したもの)のリストであり、レンダリングに必要な、面の反射率などの属性の情報を含む。リスト $\{3\}$ は実質(表面で包まれた図形の内部)のリストであり、実質を構成する4面体どの4個の頂点によって張られているかを示す情報が収納される。この情報は、断ち落としや挟り取りによって新しい図形を導出する処理に用いられる。

3 形状加工操作とその実現

このシステムでは、ユーザは写真とレンダリングとを見比べながら直方体などの基本図形に対して各種の操作を順次施すことによってシステム内に庭石形状情報を構築する。操作の中で最も重要なのは断ち落としと挟り取りである。

3.0 断ち落とし

写真からは、いくつかの方向からの石のアウトラインを読み取ることができる。アウトラインはほぼ多角形とみなしてかまわない。そこで、写真に写っているのと同じ方向に傾けた図形から、アウトライン多角形を底面としスクリーンに直交する側面をもつ多角形柱の外部を除去することによって、形状を目的の石の形状により近づけることができる。この形状加工操作を

断ち落としと呼ぶ。

建築物と異なり、庭石では形状について完全な情報が得られるとは限らない。たとえば、ほとんどの石は下底面方向から撮影することができない。このような不完全な情報から実用に耐える形状データを生成するには断ち落としによって単純な形状を少しずつ目的の形状に似せていくのが効果的である。

多くのモデリングシステムが装備している言わゆる立ち上りは、断ち落としよりやや狭い概念でありこのような用途には適切ではない。

4面体モデルで断ち落としを実現するには、図形を構成する各単体をアウトラインの各稜線で切断し、これによってできる単体を求めて新しいリストに並べればよい。以下では最も複雑な4次単体に関する操作について説明する。

4面体の正射影の中で、断ち落としのアウトラインが折れないか、鋭角で折れる場合の処理は単純である。この場合は、落した残りは角錐／角錐台／角柱の断片のどれかになるのでそれを判定し、さらにアウトラインの稜線が規定する平面と4面体の各稜線との交点の座標を求めれば、0～3個の単体の結びとして結果が求められる。

アウトラインが鈍角で折れる場合は、折れる前の辺でいったん断ち落とす。次に、落ちた部分に対しても折れた次の辺で断ち落としを施し、その残りをもとの残りとは合せる。この分解によって鈍角が内部にかからない場合の処理に帰着できる。

3.1 挟り取り

以前にも述べたように、桂離宮の庭園には多くの挟り取りをもった石が用いられている。これらの石の挟り取りは、多角形（鈍角をもつ）を底面とする多角形柱を（集合として）引いた差に当たる。

4面体モデルで挟り取りを実現するには、いったん図形を差分多角形柱の奥の底面で2分する。そして、手前の部分については、3.0の断ち落としの逆の操作、つまり底面のアウトライン多角形の内部を捨てる操作を施し、その結果を奥の部分と合せばよい。

3.2 他モデルにおける処理との比較

B-repでは実質のトポロジに関する情報をもたないので、断ち落としや挟り取りによって新しい断面がどこに生じるか判断することができない。4面体モデルは、B-repに対して、要素を単体に制約し、さらに実質情報を追加したものと言える。曲面パッチの事情も同様である。

CSPでは、多面体を凸多面体（複数の平面を境界とする半空間の交わり）の多項式（正しくは結び）として表現できる。平面で多面体を切った結果は各凸多面体を切った結果の結びとして得られるが、そのおのおのの切断については無限に多くの組み合わせが存在するので4面体を切る場合のように少しのケースのどれかにあてはめるわけにはいかない。一般の凸多面体の代わりに4面体だけを扱うことによって組み合わせの可能性を減らしたのが4面体モデルであると言える。

ボクセルや8ツリーによる表現はこのような加工操作についてはむしろ優れている。

4 レンダリング

庭石のレンダリングについては、幸いに以下の点で性能を落すことが許容される。

○頂点や稜線を丸めて表示する必要はない。

○シェーディングにおけるグロス項の係数も指数もあまり高くないため、各面を一律の明るさにシェーディングするだけで十分である。

以上から、図形を包む3角形板を、面の重心などの代表点に関して視点から遠い順にソートし、やはり代表点での明暗を求め、順にグラフィックスメモリやファイルに重ね塗りするだけで、ほぼ正しいレンダリングが得られることが分る。

一般には、巴重ねや相貫のような現象が生じるため、重ね塗りレンダリングでは面の細分が欠かせない。しかし、直方体にアフィン変換および断ち落とし・挟り取りを施すだけではこのようなケースは生じない。誤った画像が得られるのは、ごく深い谷を挟んだ2本の峰の側面が逆に表示されるような場合で、きわめてまれにしか起らない。

さらに、前処理として隠れ面をリストからできるだけ除外しておくことによってソーティングも軽減できる。4面体モデルで表現された図形では、以下のようなごく軽い判定で明かな隠れ面を検出することができる。

○4面体の重心と視点とを同じ側に寄せる面は必ず隠れる。

○3頂点をすべて共有する2面対はどちらも隠れる。

4.0 他モデルにおける処理との比較

B-repでは、表現そのものからは巴重ね／相貫が生じないことが保証されないので各種の加工またはレンダリングを実現する際にアルゴリズムの設計に注意を要する。また、面の頂点を4面体の外から見て正の方向に並べておくなどの準備をして、同側2点による前処理ができないのを補う必要がある。

CSPでは図形加工の場合と同様に組み合わせ的計算量の爆発を生じる。

ボクセルや8ツリーでは、描画命令がボクセルの分割数に比例して増大する。これに対して4面体モデルのそれは多面体を包む面の数に比例する。このため時間性能では4面体モデルに劣る。また、得られる画像の品質もよくない。

5 終りに

断ち落としや挟り取りは、一般の図形変形に比べて制御するべき要素が少ないので、操作の効率にとっても有利である。この特徴を活かし、簡潔で強力なユーザインタフェースをシステムに装備することが次の段階の重要な課題である。