

## パステルの質感を持つストロークのレンダリング技法に関する研究

村上, 恭子

---

<https://doi.org/10.15017/458912>

---

出版情報 : Kyushu University, 2004, 博士（芸術工学）, 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

---

### 第3章

CGによるパステルストロークを用いた  
アニメーション

本章では、第2章の実験において用いた三次元オブジェクトのレンダリング手法をもとに、三次元オブジェクトに対する自然なストローク配置法を提案し、このストローク配置をアニメーションへと応用する。

### 3.1 ポリゴンベース三次元オブジェクトの利用

第2章の実験において用いた三次元モデルはコンピュータ上で最初から設計され、面は全て四辺形で作られている。また、各面に対するストロークの配置は、水平あるいは垂直であり、非常に単純な手法である（図3-1）。しかし、ストロークが描き出したオブジェクトには、ある程度手で描いたような効果が見られた。その理由についてまず考察を行い、考察に基づいたストローク配置法を提案する。

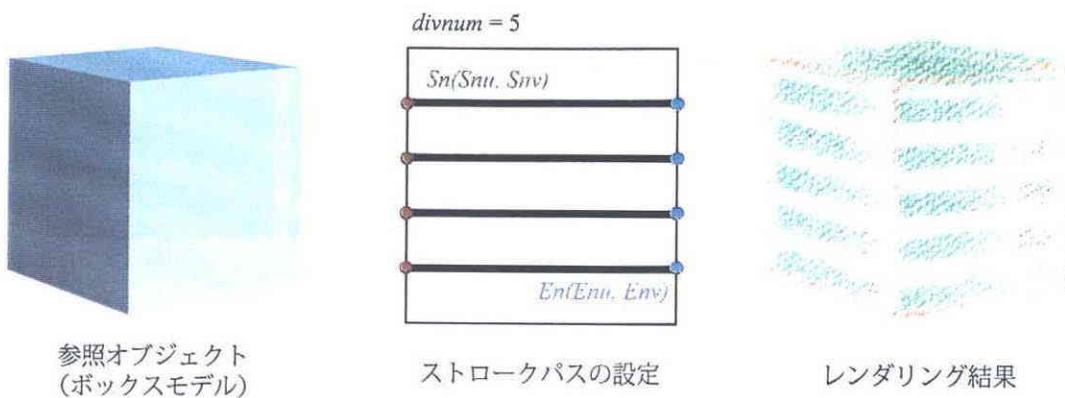


図3-1. 面へのストローク適用例 (2.4.1).

#### 3.1.1 ポリゴンベースモデリングの特徴

コンピュータ上で最初からポリゴンベースモデルを設計・作成する場合、三角形ではなく四角ポリゴンを使うことが多い。その理由として、一般的に「面」という概念を表すために四角という形がよく用いられるため、四角ポリゴンで形作られた物体は形状の把握が容易であることが考えられる。現実に絵を描く場合と同様、モデリングにも様々な方法が存在するが、「造形」という発想で考えると、図3-2に示すような手順で進めることになる。まず、直方体等のプリミティブを生成し、これをおおまかに変形させてある程度の形をつかむところから始める。ここではポリゴンはほぼ方眼状に並んでいる(a)。次に、やや細かい部分を作っていく。比較的平らな部分は、最初のポリゴンの並びを利用することで方眼状の配置を保ち、形状が大きく変わっている部分ではポリゴンを分岐させ、頂点を

移動させる。また、膨らんでいる部分は円を描くように配置する (b)。多くはこの時点まで Nurbs などを用いてポリゴン数を増やさずになめらかな曲面を想定しながら作業を進めていく (c)。最後に、ポリゴンを細分化し、目的に合ったポリゴンの大きさを持つモデルとなる (d)。

一方、一般的なデッサンでは、まず骨格となる形状を広い面でおおまかに表現し、徐々に細かい面を描き加えていく。描画線の方向は面の向きを意識して描かれ、平坦な部分は平行線で、丸みを帯びた部分は曲線を用いて表現される [Tok91] (図 3-3)。このように、面のつながりを意識したモデリングの手順は一般的なデッサンの手順とほぼ同じである。よって、この類似性により、オブジェクトの面の方向に沿った図 3-1 のようなストローク配置が、人間の手によるパステル画に近いストローク描画を可能にしたと考えられる。

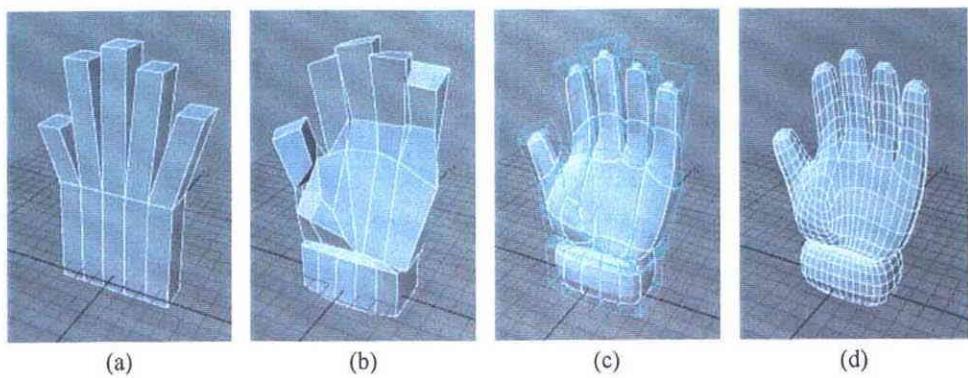


図 3-2. ポリゴンベースモデリングのモデリング手法。

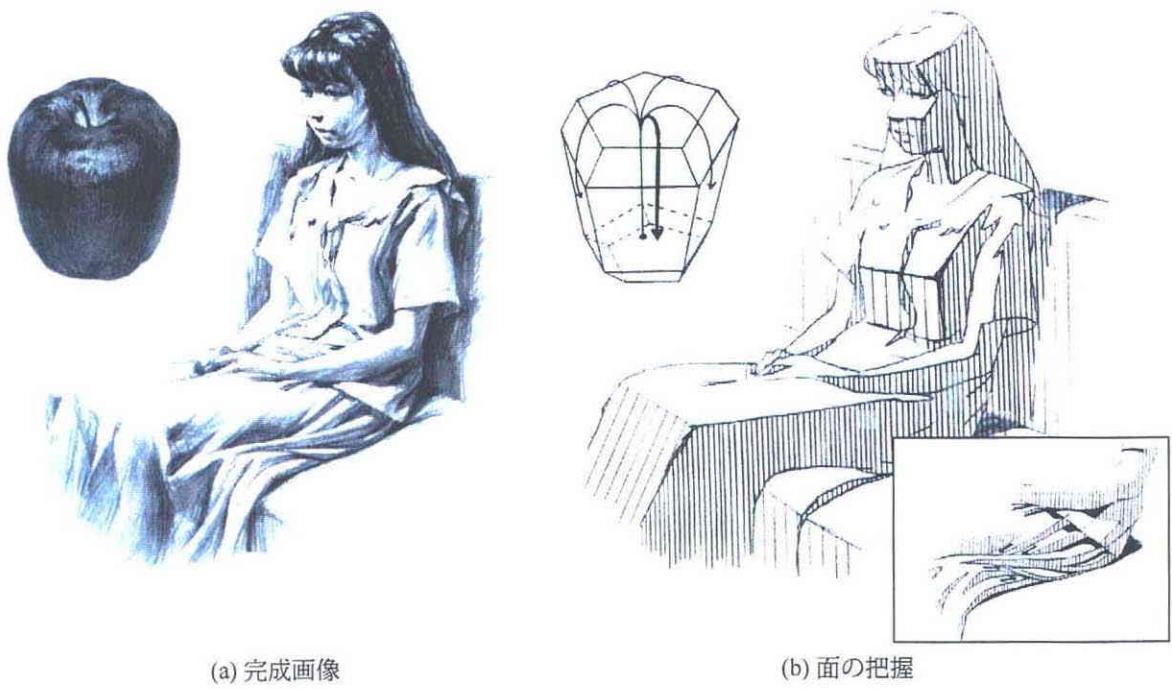


図 3-3. デッサンによる描画の例 [Tok91]。

### 3.1.2 パーティクルとの併用

2. 4. 1において提案したストローク配置では、ストロークの始点及び終点の位置がポリゴンの形状に左右される。ポリゴンの面に沿った上で、一枚一枚のポリゴンの形状に拘束されないストローク配置を行うには、ストロークパスの始点及び終点をポリゴンの辺上だけでなく、面上にも配置できるようにしなければならない。そのため、始点をパーティクルとして面の上に配置し、配置した始点と面のつながりを利用して終点を決定する。

パーティクルを面上に配置し、ストローク生成の位置決定に利用する手法は、Meier [Mei96] によって提案されている。Meier は、オブジェクトを構成する三角ポリゴン上にパーティクルを配置し、それをスクリーンに投影した後、二次元上のパーティクル位置に油絵風のストロークを発生させている。本研究ではこれを、パステルのストロークに適用できるように変更する。

まず、各ポリゴンに対して独立した  $u-v$  座標を与える（図 3-4）。これはオブジェクト上のポリゴンのつながりによっては、ポリゴン全体を統一するグローバルな座標を与えることができないためである（図 3-4(b)）。ポリゴンの四つの頂点番号を左回りに 0, 1, 2, 3 とすると、1 から 0 方向へ向かう軸を  $v$  軸、1 から 2 方向へ向かう軸を  $u$  軸とする。 $u$  軸、 $v$  軸は双方ともに頂点 1 を原点として、0～1 の値を取る。続いて、この  $u-v$  座標を用いて、ポリゴン上にストロークの始点となるパーティクルをランダムに散布する。散布方法はポリゴンが四角であることを除けば Meier [Mei96] の方法に準拠する。

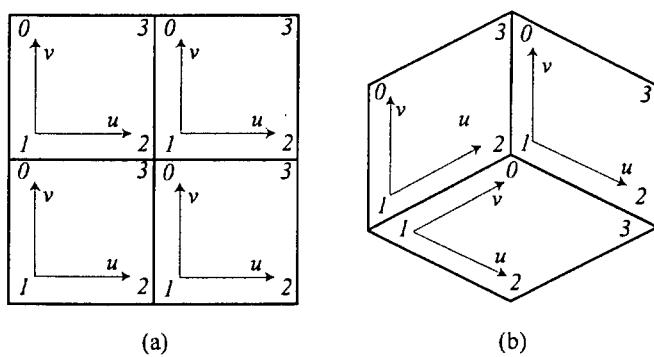


図 3-4. ポリゴン上の  $u-v$  座標。

Meier の手法は、ごく短いストロークで物体の色を描いていく油彩画を想定しているため、パーティクル位置にストローク方向を加味した短い油彩風ストロークを発生させていく。しかし、パステル画の場合、短いストロークで色を置く他にも、複数の面にまたがる長めのストロークで、一帯の面の向きやオブジェクトの形状を表現することもしばしばである。そのため、パーティクルの属性として与えるストロークの長さ  $l$  は、最終的なレンダリングにおける見かけの長さではなく、横切るポリゴンの数とし、ストロークはポリゴ

ン上を横断するように発生する。このように  $l$  を設定することで、 $u-v$  座標上への長さの適用が容易となる。ユーザはポリゴンの大きさを把握しているため、これにより感覚的にレンダリングされるストロークの長さを把握することができる。区別のため、この長さ  $l$  を「ポリゴン長」と呼ぶ。

パーティクル散布終了後、各ポリゴンについてパーティクルの属性を参照し、規定の長さに達するまで隣接するポリゴン上をストロークベクトル  $V$  方向に進む。このとき、ポリゴンが他のポリゴンと接する境界とストロークとが交わる境界点  $en(enu, env)$  をストロークエレメントとして算出し、ポリゴン内に保存していく。このストロークエレメントがパステルストロークを生成させる処理でのストロークの始点及び終点となる。

$l \geq 1$  の場合、始点の位置から  $-V$  方向を検索し、境界点を計算する。これを始点前境界点  $B(Bu, Bv)$  とする。このとき、始点から始点前境界点までのポリゴン距離を  $pdist$  とし、これを最後の境界点に足すことにより、始点  $S$  のあるポリゴンのポリゴン長を保証する。 $l + pdist$  が整数であれば、ストロークの終点  $E(Eu, Ev)$  は必ずポリゴンの境界にあるが、小数であれば終点は面上か、あるいは計算結果としてもう 1 ポリゴン進む。図 3-5 にパーティクルの属性及び処理の詳細を示す。

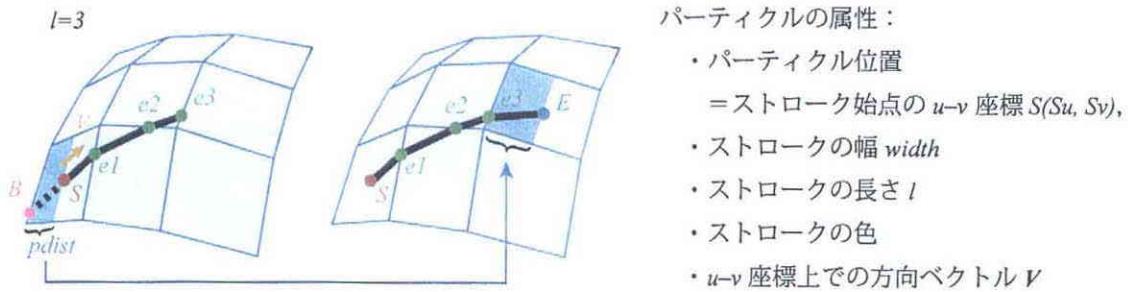


図 3-5. ポリゴン上へのストロークエレメントの配置。

以上の手法を、立方体のモデルに対して適用した例を図 3-6 に示す。ストロークの属性等を変化させることで、ストロークの重なり合いを利用した面の描画表現であるハッチングやクロスハッチング・点描といった描画効果を得ることができる。また、ストローク描画技法の適用や、生成後の画像に対してぼかし技法を適用することで表現に変化をつけることも可能である。図 3-7 には、更に複雑な形状を持ったオブジェクトに対する適用例を示す。ここでは、パラメータの違いにより一つのモデルに 3 種類の描画効果を与えており、ハッチングを適用している (a) 及び (b) では、面同士のつながりを考慮したストローク生成により、指や手首の丸みや手の平の平らな部分を適切に表現できている。点描を施した (c) ではストロークを短く設定するため、ポリゴンの流れは失われるが、毛糸のような材質感の表現が可能となっている。各画像の下の画像はぼかし効果を適用したものであり、より柔らかい雰囲気を表現するのに有効である。

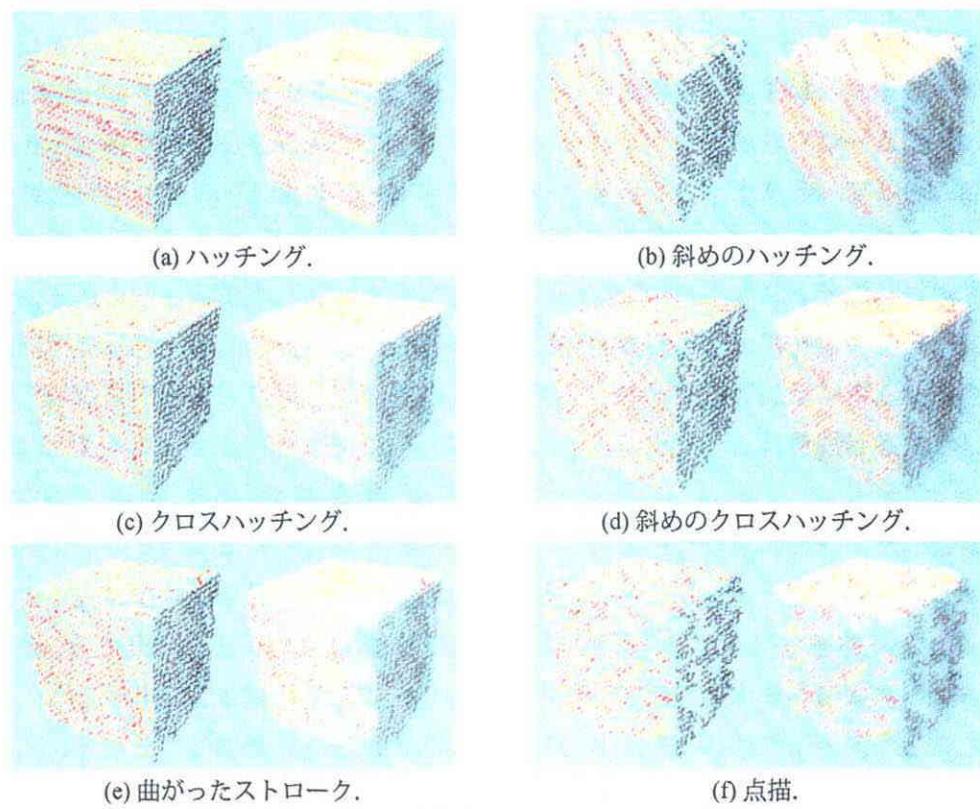


図3-6. 立方体オブジェクトへの適用例.

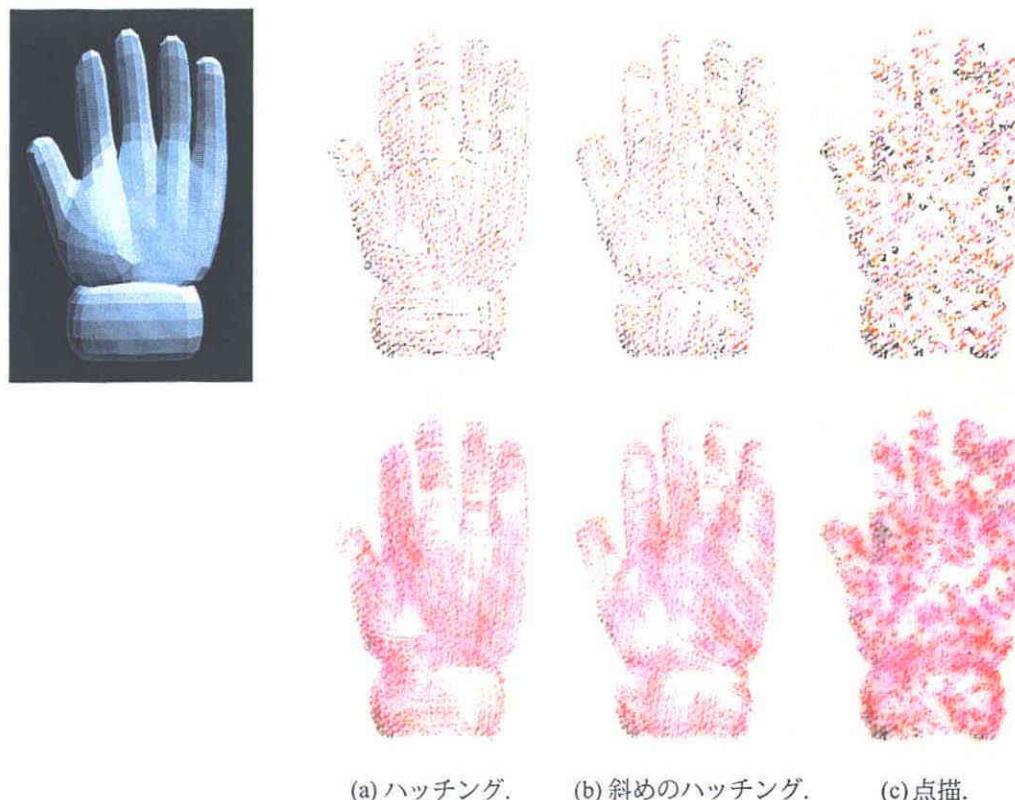


図3-7. 手袋モデルへの適用例.

### 3.2 フレーム間コヒーレンスの保持

Meier [Mei96] のパーティクルを用いたストローク生成手法の目的は、ストロークをオブジェクト上に固定することによって、アニメーションを行った際のフレーム間でのストロークの対応付け（フレーム間コヒーレンスの保持）を行うことである。フレーム間コヒーレンスを保つことにより、Winkenbach ら [WS94] の手法に見られるようなちらつきを除去することである。そのため、3.1.2 の手法において、パーティクルをポリゴン上に散布した後、アニメーションの間、その位置を保持し続けることで、ストローク位置に関するちらつきは除去できる。しかし、現在の手法ではストローク生成にランダムな数を用いているため、ストロークの形状がフレーム毎に変化してしまう。これを避けるためには、ランダムな数に再現性を持たせる必要がある。

本技法で用いているオブジェクト形式は、ポリゴン番号を含んでおり、その値はアニメーションを通して不变である。そのため、ポリゴン番号をインデックスキーとしてランダムな数列を呼び出すことにより、常に同じ乱数列を利用することができる。

また、パステルのように、ストロークのテクスチャに紙面が大きく影響するような画材の場合、ストロークが移動すると紙面の状況が変わり、顔料の付着率も変化してストローク上に現れている紙面のテクスチャが異なってくるため、ストローク位置と形状を固定してもストロークのちらつきが無くなることはない。しかし逆に少量のちらつきはパステル画の雰囲気を出すためには効果的であるという考え方から、本研究ではあえて無くさずに残している。

### 3.3 アニメーションへの適用

#### 3.3.1 実験

以上 の方法を用いてアニメーションを生成する。図3-8から図3-15にその結果画像を示す。図3-8は複数のモデルに対して本技法を適用し、アニメーション生成を行ったものである。面のつながりの考慮によって、各モデルにおけるストロークの方向は図3-3のデッサンによる面表現で現れているストローク方向と似たものとなっている。特にオブジェクトの丸みを表現する面のつながりは、ストローク方向に対して効果的に現れている。

また、面のつながりの状況とストロークの振る舞いとを考慮してストロークを生成すれば、特殊な描き方をした物体をレンダリングすることができる。図3-12の球体及び図3-13の葡萄の実は、一本のストロークで球体を表すために、長い螺旋形のストロークを生成した。アニメーションとして見たときに、オブジェクトの方向によって斜線から渦巻きへとストロークの見え方が変化していく。パステル画としてはこれまでにない表現効

果を発揮する描画法と言える。図3-14, 15ではよりポリゴン数の多いモデルに適用し、紙面の色及びライティング色による画面の雰囲気の変化を示している。

これらの画像ではシェーディングには拡散反射成分のみによるシェーディングを用いている。これは通常のパステル画ではあまり行われない。これにより、結果画像及びアニメーションでは、パステルストロークが空間上に浮かんでいるように見える。これはCG特有の表現であり、実際のパステル画では不可能である。もし実物に近いパステル画を得ようとするならば、色に関しては視覚混色を行う[YMI03]、使用できる色を制限するなどの工夫が必要であり、アニメーションに関してはストローク位置・紙面におけるコヒーレンス保持をやめ、フレーム間隔を広く取るなどすればよい。

### 3.3.2 まとめ

以上のように、本章では、Meier [Mei96] の手法に加えてポリゴンの流れを意識したストローク方向の自動生成により、パステル画風のCGアニメーションの生成を行った。様々なオブジェクトに対してこの手法を適用することで、パステル画の質感を持ちながらCG特有の滑らかな動きを持つアニメーションを得ることができた。

紙面を固定することにより、ストロークに付随する紙面が複数混在することは避けられている。しかし、固定された紙面のテクスチャの影響で、すりガラスを通して見たようなアニメーションにも見え、違和感のない映像に仕上がっているとは言い難い。この違和感をなくし、かつストロークのちらつきを抑えることは今後の課題である。実際のパステル画においてはオブジェクトの輪郭線を描く場合が多い。これをアニメーションへと最適化するためには、まずNorthrupら[NM00]やKalninsら[KDM\*03]のような特殊な工夫によって、輪郭線を描くストロークが宙に浮いた状態をなくす必要がある。同様の処理は、オブジェクトの内部を描くストロークにも必要になってくる。また、パステル風アニメーションレンダリングツールへの適用を考えた場合には、テクスチャを貼ったオブジェクトや三角ポリゴンの混じったオブジェクト、スキヤニングされたオブジェクトといった一般的なオブジェクトの取り扱いや、パラメータ操作に関するインターフェースの開発が必要である。その他、ストロークの流れの手がかりとなる四角形ポリゴンの効果的な配置と位置制御、輝度情報を付着率として用いた表現法、本技法を用いたアニメーション作品の制作などが今後の課題として挙げられる。

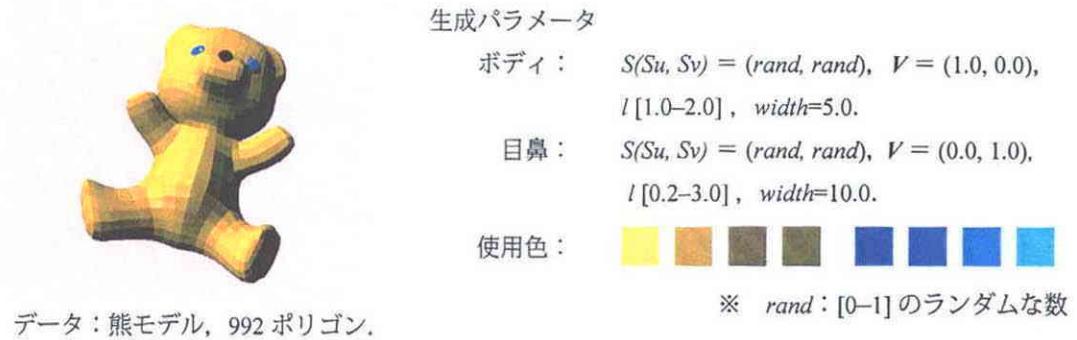
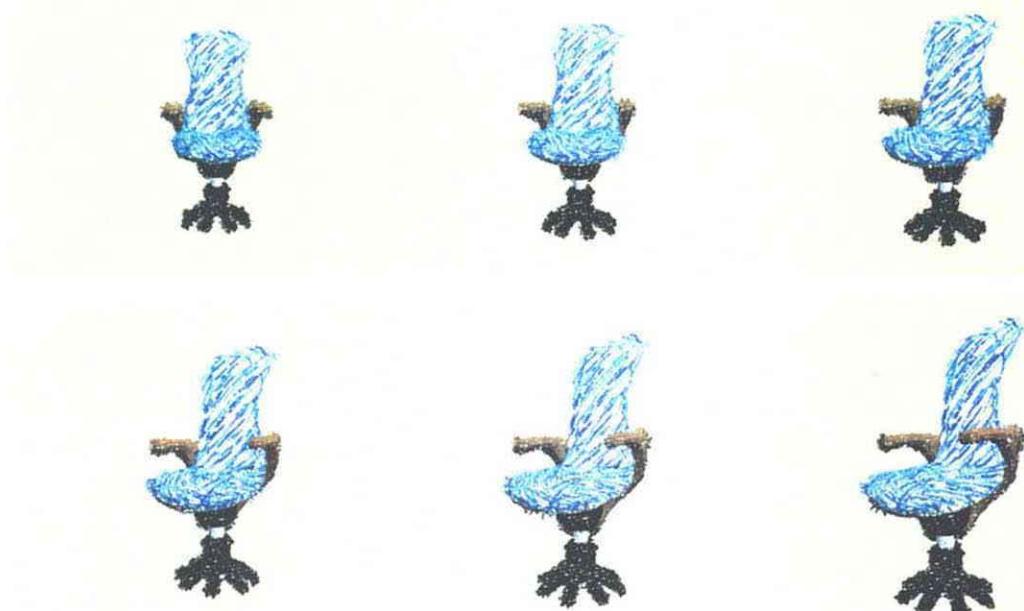
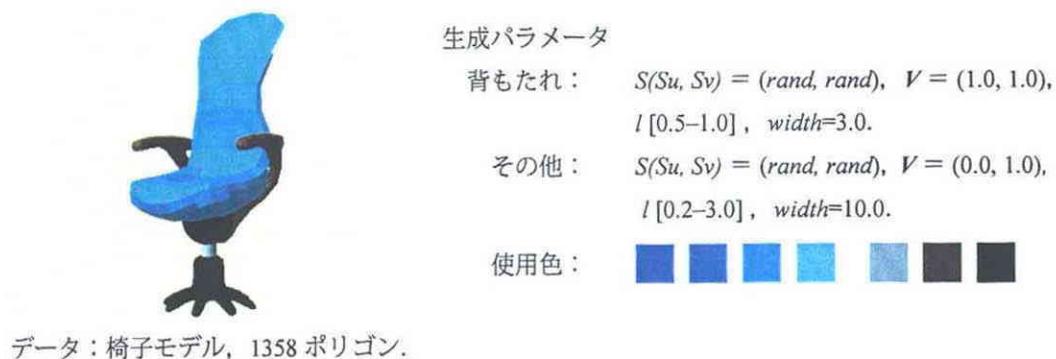


図3-8. アニメーションの生成例1.





生成パラメータ

花・葉・茎： $S(S_u, S_v) = (\text{rand}, \text{rand})$ ,  $V = (1.0, 0.0)$ ,  
 $l [0.5-5.0]$ ,  $\text{width}=5.0$ .

使用色：



データ：チューリップモデル，2648 ポリゴン。



ブレンディング適用例。

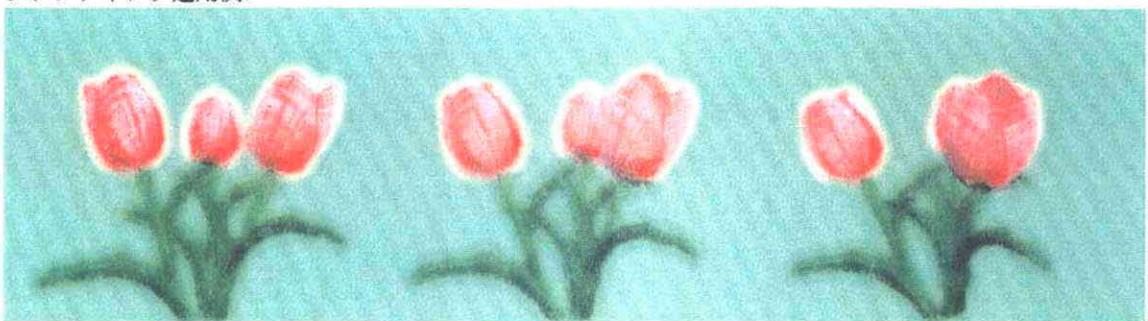
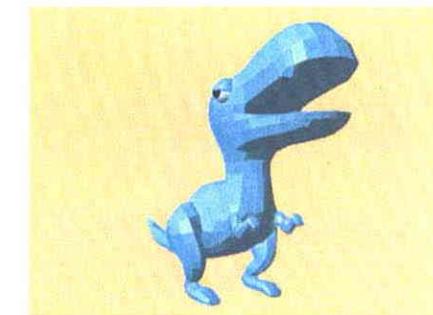


図3-10. アニメーションの生成例3.



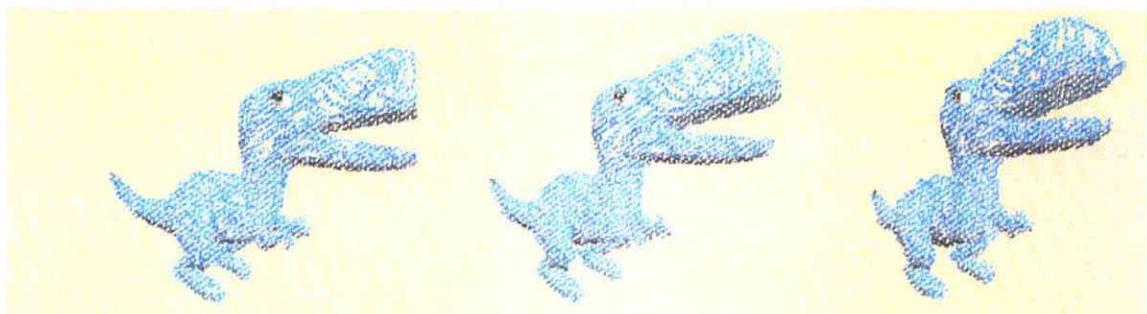
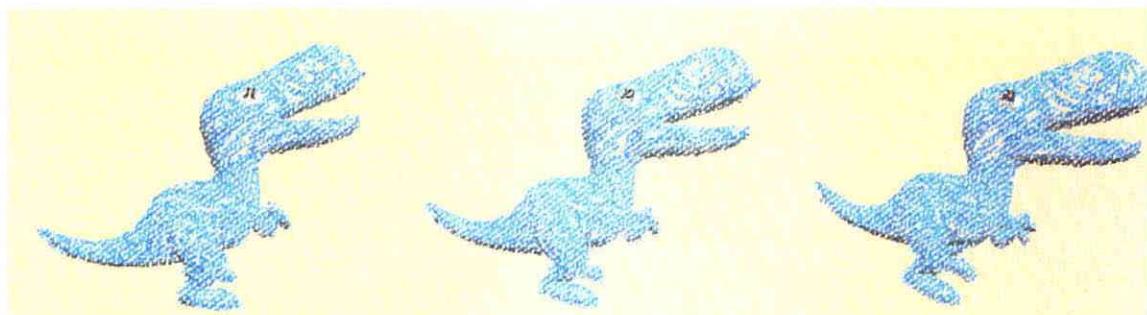
生成パラメータ

ボディ： $S(S_u, S_v) = (\text{rand}, \text{rand})$ ,  $V = (1.0+, 0.0+)$ , $l [0.5-1.5]$ , width=7.0.

使用色：

※  $V$ には徐々に回転するようベクトルを付加

データ：恐竜モデル, 2144 ポリゴン。



ブレンディング適用例。

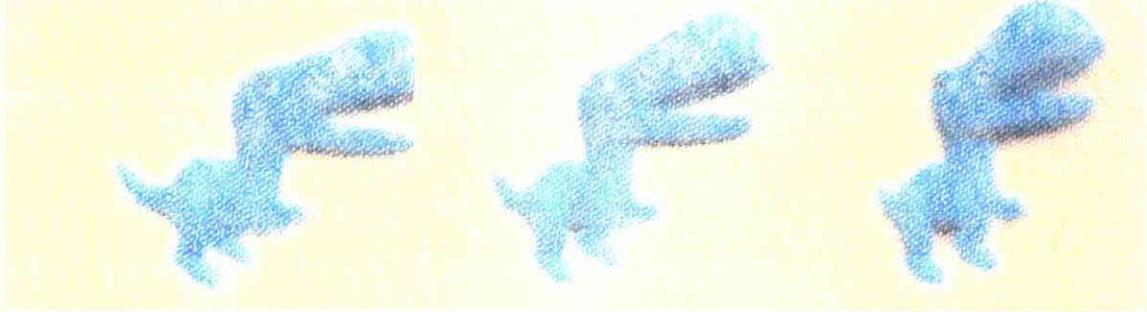
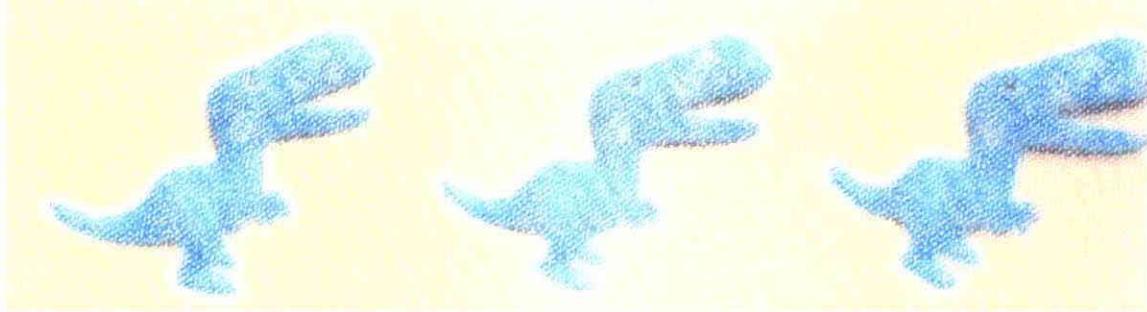
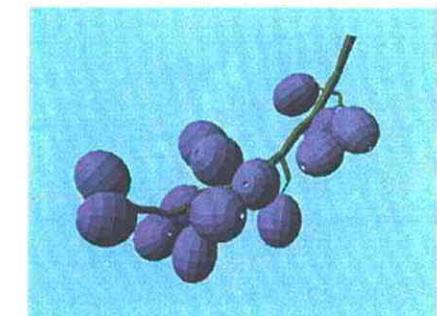


図3-11. アニメーションの生成例4.



図 3-12. らせん状のストロークを使った描画例 1.



生成パラメータ

実： $S(S_u, S_v) = (\text{rand}, \text{rand})$ ,  $V = (0.04, 1.0)$ ,  
 $l = 500$ ,  $\text{width}=10.0$ .

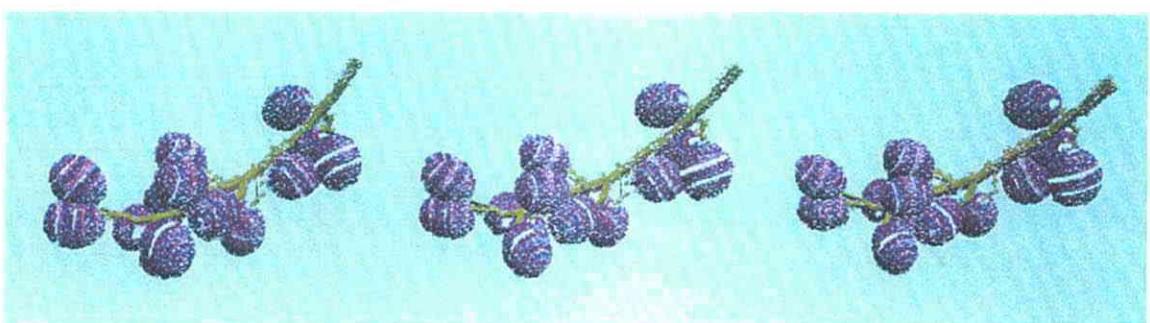
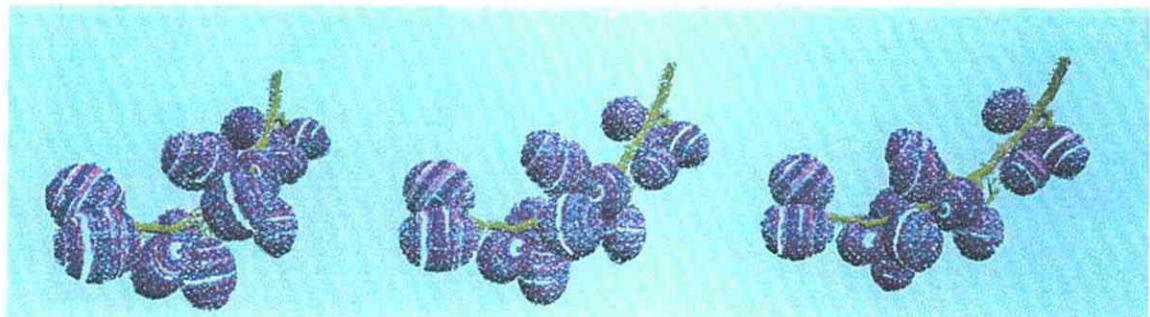
枝： $S(S_u, S_v) = (\text{rand}, \text{rand})$ ,  $V = (0.0, 1.0)$ ,  
 $l [0.2-1.0]$ ,  $\text{width}=5.0$ .

使用色：



※ スパイラル

データ：葡萄モデル, 2286 ポリゴン.



ブレンディング適用例.

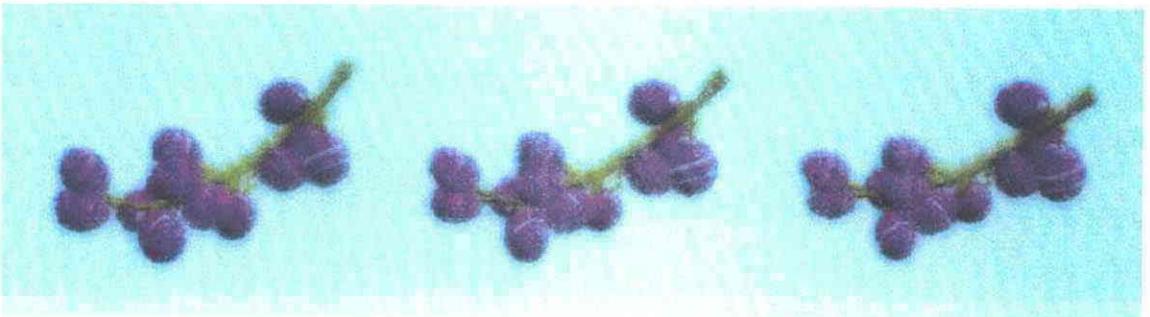
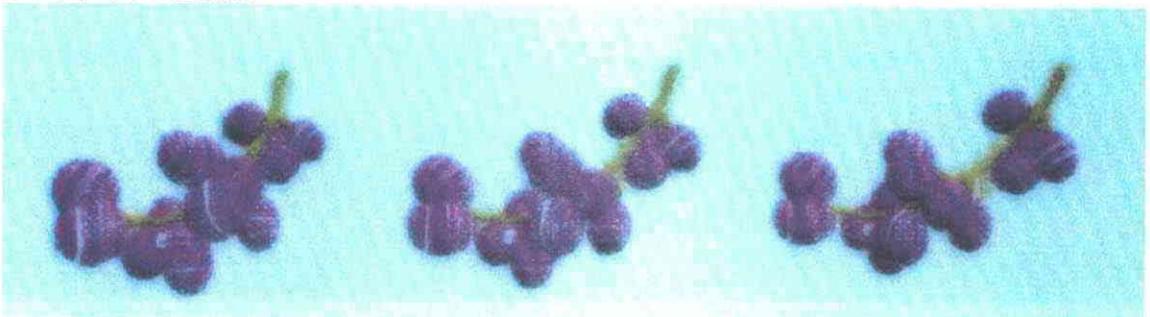
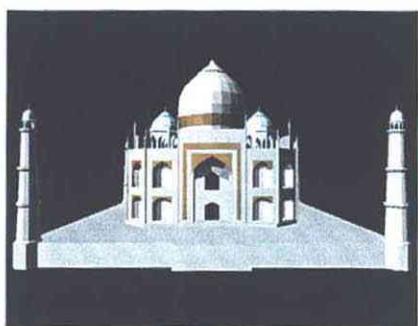


図3-13. らせん状のストロークを使った描画例2.



生成パラメータ

建物 :  $S(S_u, S_v) = (0.0, 0.0)$ ,  $V = (1.0, 1.0)$ ,

$l [0.2-1.0]$ ,  $width=0.5$ .

使用色 :

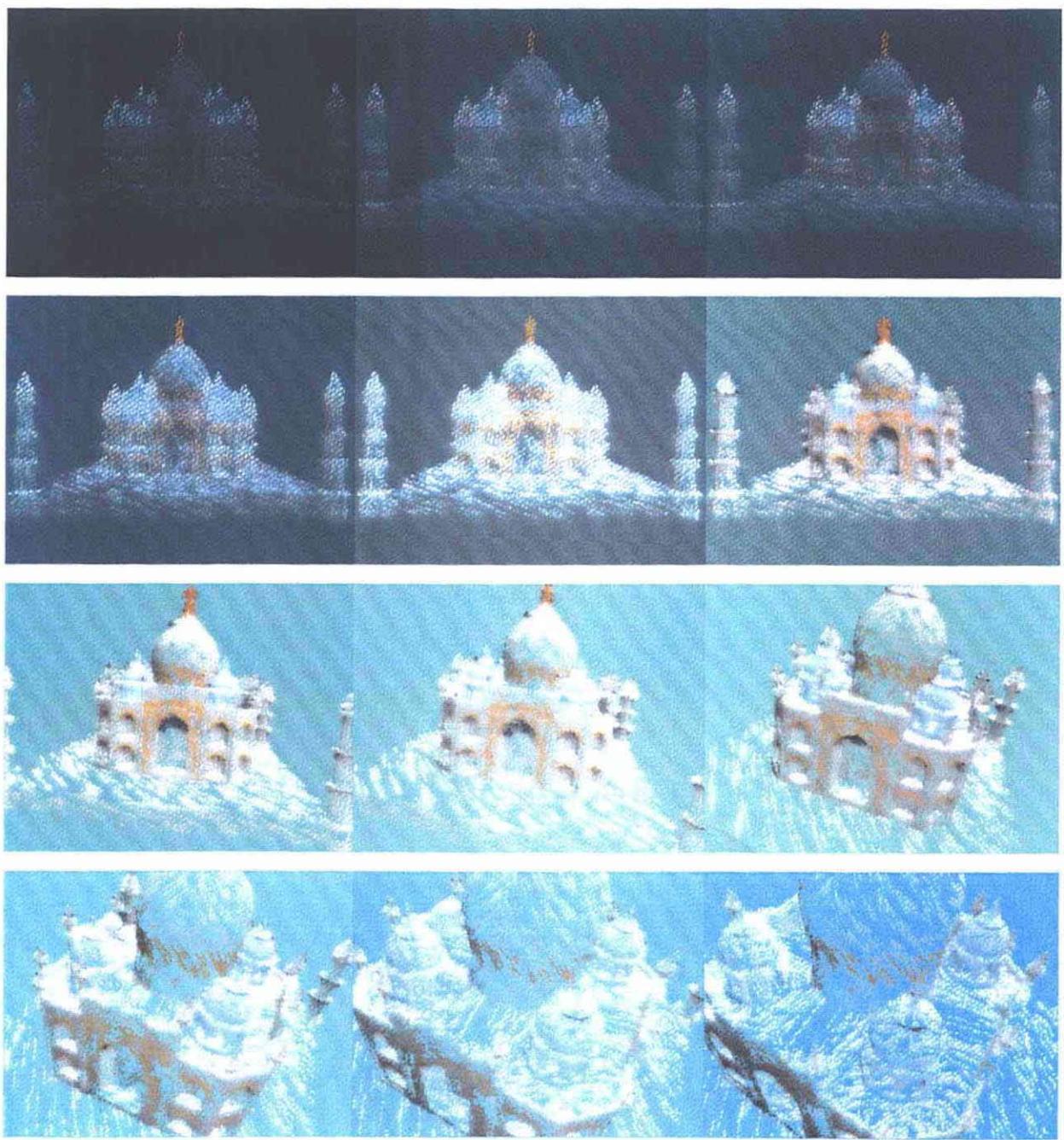


図3-14. より複雑なモデルを利用した例。

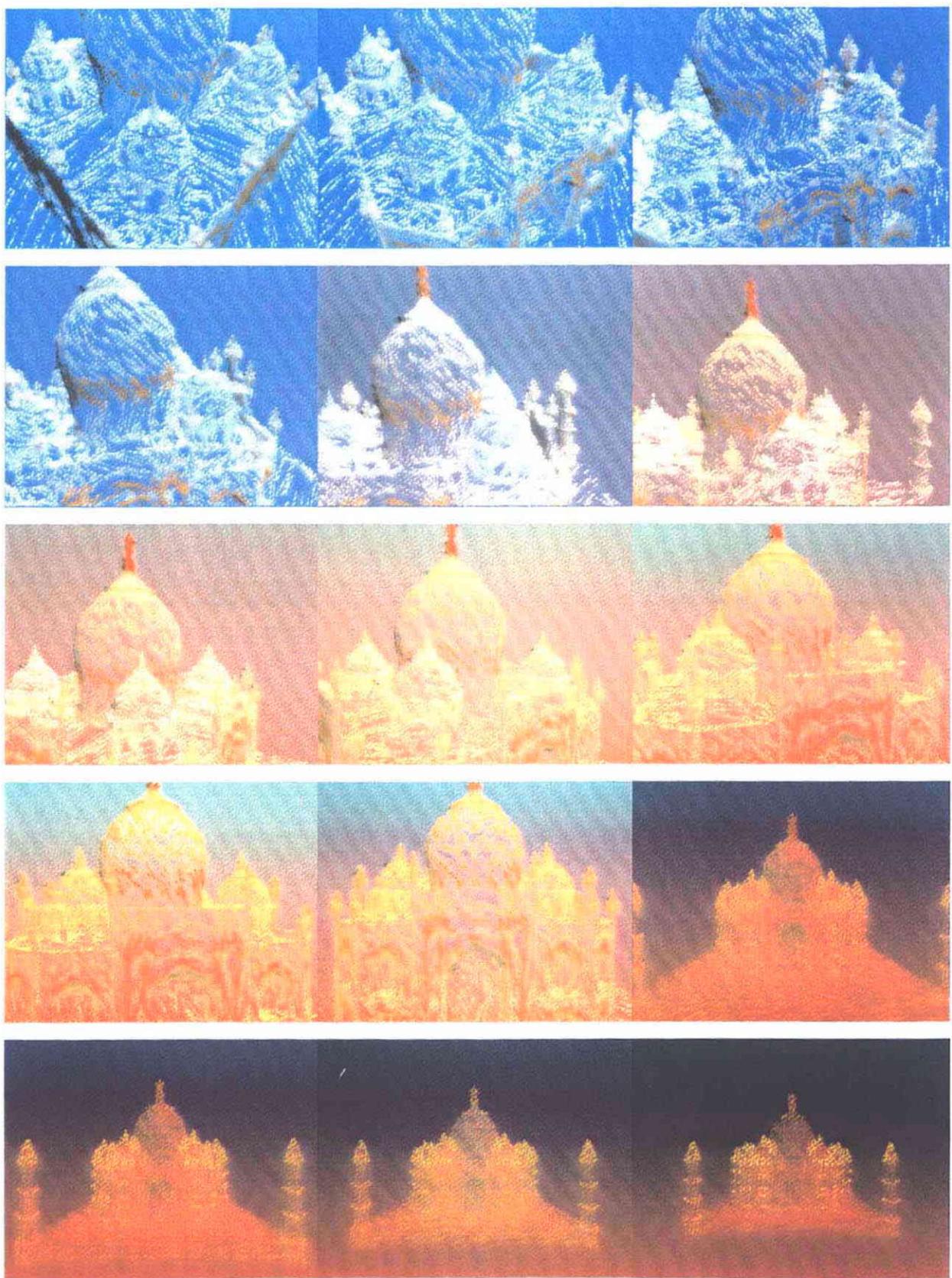


図3-15. より複雑なモデルを利用した例。