

# アカンサス模様の曲線形状制御システムの提案

米田 優香<sup>1,a)</sup> 向井 智彦<sup>1,b)</sup>

**概要：**中世ヨーロッパを舞台とする 3DCG コンテンツの背景モデルにはアカンサスの葉をモチーフとするアカンサス装飾が多用されるが、造形が複雑であり形状も多様なため、手作業でのモデリングには労力を要する。そこで本稿では、アカンサス模様を構成するパーツの中でも使用頻度が高い波線型形状に着目し、その中心軸の形状を自由に制御できるようなプロシージャルモデリングシステムを提案する。また提案システムでは、従来のスライド操作による形状制御よりも直感的な操作を可能とし、制作効率を高めるユーザーインターフェースとして、モデルに直接取り付ける円盤型のコントローラを提案する。

## 1. はじめに

中世ヨーロッパを舞台とする 3DCG コンテンツの背景モデルにはアカンサスの葉をモチーフとするアカンサス装飾が多用されるが、造形が複雑であり形状も多様なため、手作業でのモデリングには労力を要する。そこで、装飾形状の制作を支援する様々な技法が研究されている。平岩ら [1] は、自ら考案したアカンサス模様の形状分類法に従い、各形状のモデルパーツを手作業でモデリングし、3DCG ソフトウェア上のライブラリから必要に応じてパーツを選択・配置できるシステムを提案した。ただし、事前に用意されたパーツの組合せのみではモデリングの自由度が低い。また Stephan Duquesnoy [2] は、アカンサス模様を模した曲線をランダム生成することで、制作の効率化を図った。しかし、ランダム生成した曲線モデルから好みの形状を探す際の手間や、選び取ったモデルに気に入らない点があった際の修正の手間が残る。

そこで本稿では、アカンサス模様を構成するパーツの中でも使用頻度が高い波線型形状に着目し、その中心軸の形状を自由に制御できるようなプロシージャルモデリングシステムを提案する。また提案システムでは、より制作効率を高めるユーザーインターフェースとして、モデルに直接取り付ける円盤型のコントローラを提案する。形状制御のためのユーザーインターフェースには一般的にスライダが用いられるが、スライダには、操作するたびにモデルから視線を外す必要があることなどの手間が存在する。提案するインターフェースでは、円盤をドラッグあるいはクリックすることにより対応する曲線部分の形状を直感的に制御できる。本

稿では、アカンサス模様に関する知識の有無に関わらず多様な形状の曲線モデルを短時間で制作できるシステムの構築について報告する。

## 2. アカンサス模様の造形分類・分析

平岩ら [1] の調査・分析によると、アカンサス模様を構成するパーツは、アカンサス模様の大まかな形状を決定する主要形状と、それを飾り立てバリエーションを持たせる葉形状の 2 つに分類できる。本研究では、アカンサス模様を特徴づける主要形状に焦点を置く。同調査・分析は、主要形状を曲線の凹凸などを基準にして波線型、括弧型、百合型、Y 型の 4 種類に分類している (図 1)。また、同研究が

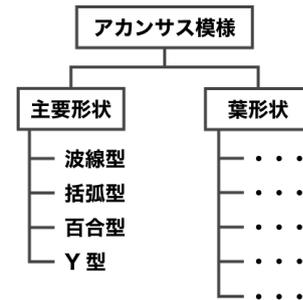


図 1 アカンサス模様の造形分類

装飾モデリングの際見本に用いた画像資料には波線型が多く含まれていた。したがって本研究では、主要形状の中でも制作現場で使用頻度が高いと考えられる波線型パーツを対象を絞ってシステムを提案する。さらに、同調査・分析では波線型に属するパーツを 6 種類に分類している。その中でも資料の抽出数が少ない 2 種類を省いた残りの 4 種類は「葉のないシンプルな形」、「両端が螺旋状であるもの」、「片方の端が螺旋状であるもの」、「両端共に螺旋状でない

<sup>1</sup> 東京都立大学システムデザイン学部

<sup>a)</sup> komeda-yuuka@ed.tmu.ac.jp

<sup>b)</sup> tmki@acm.org

もの」となっている。しかしこの分類法では「葉のないシンプルな形」でありながら「両端が螺旋状であるもの」の分類ができないという問題が残される。

そこで本研究では波線型をまず、主軸の形状により「両端が渦巻いているもの」、「片方の端が渦巻いているもの」、「両端共に渦巻いていないもの（ただし丸みを帯びている）」の3種類に分類する。その上で各主軸に対し、葉があるものと無いものと定義づけた（図2）。それらの組み合わせによってバリエーション豊かな波線型パーツを生成できると仮定する。

主軸 葉	両端が 渦巻いているもの	片方の端が 渦巻いているもの	両端共に 渦巻いていないもの
葉なし			
葉あり			

図2 波線型の分類

さらに波線型パーツの渦巻き形状と葉の形状について調査した。古典装飾モチーフや室内装飾デザインを収録した書籍 [3], [4] によると、先端が渦巻いている場合、その螺旋は回転するごとに徐々に幅が広くなる傾向が見られた。また、螺旋の内径や外径の大きさ、広がり具合がパーツイラストごとに異なっていた。このように螺旋形状の違いがパーツに多様性を与えている。また葉に関しては、一方の先端では丸みを帯びている内側で螺旋を延長するように、他方の先端では丸みを帯びている内側で螺旋に向かうように葉が伸びている傾向が見られた。この傾向は先端が渦巻いているか否かに関わらず、多くのパーツイラストに共通していた。しかし、葉の数や伸び具合などはパーツイラストごとに異なっていたため、それらの要素がパーツに多様性を与えていると考えられる（図3）。

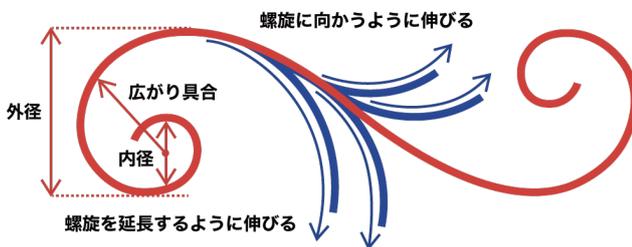


図3 波線型の分析

### 3. 提案システム

本稿では、アカンサス模様の波線型パーツの各先端を渦巻き状にするか否かを自由に決め、渦巻き状にする場合はその内径、外径、広がり具合を、渦巻き状にしない場合は外径のみをリアルタイムに制御できるシステムを提案す

る。また、上記の傾向に則った生え方をする葉の数や伸び具合もリアルタイムに制御する。ただし本研究ではアカンサスらしさが担保されるものとなるよう、螺旋の内径や外径、広がり具合、葉の伸び具合、および螺旋の巻き数に制限を設ける。また、葉の数に関しては、現時点では4枚以下とする。

#### 3.1 主軸

主軸の設計について示す。主軸は両端の端点セグメントとそれを繋ぐ接続セグメントから構成される（図4）。

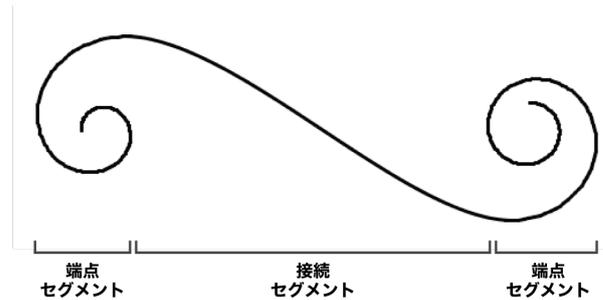


図4 主軸の実装結果

端点セグメントは、端点が渦巻き状であるか否かに関わらず対数螺旋を用いて表現する。対数螺旋とは、偏角を  $\theta$  とするとき動径  $r$  が  $\theta$  の関数  $r = a^\theta$  ( $a \neq 1$  は正の定数) によって表される曲線である [5]。この定義のとおり、対数螺旋は回転するごとに半径が指数的に増加するので、徐々に幅が広がっていくアカンサス模様特有の螺旋の表現に適している。本システムでは、ユーザが渦巻きの内径、外径、広がり具合を、渦巻き状でない場合は外径のみをリアルタイムに制御できるようにするために、上記の対数螺旋の定義を下式のように修正する。

$$r' = OD \times R \times ((a^\theta) + ID) \quad (1)$$

ユーザは、パラメータ  $OD$  を調整することで螺旋の外径を、パラメータ  $ID$  を調整することで螺旋の内径を制御できる。また、 $\theta$  が一定の角度で増加するごとに  $a$  にパラメータ  $WI$  を加えた。これによりユーザは、パラメータ  $WI$  を調整することで螺旋の広がり具合を制御できる。

また、ユーザは、パラメータ  $SP$  を変更することで端点が渦巻くか否かを決められる。以降では説明の簡略化のために左側の端点についてのみ述べるが、右側の端点についても、同様の手順で成り立つ。まず左端点が渦巻いている場合は初期角度  $5\pi$  から開始し、2回目の極大値の偏角に達するまで螺旋を描画する。また、左端点が渦巻いていない場合は初期角度  $5\pi$  から開始し、1回目の極大値の偏角に達するまで螺旋を描画する。このようにすることで上記の  $r'$  の式のみで渦巻きのあるなし両方を表現できる。また、

上記のようにユーザが螺旋の内径，広がり具合，渦巻きのあるなしのいずれかのパラメータを変化させたとき，螺旋全体の大きさが一定に保たれるように  $R$  を設定する。

一方，接続セグメントはベジェ曲線を用いて表現する。以降では説明の簡略化のために左側の端点についてのみ述べるが，右側の端点についても，同様の手順で成り立つ。左側の端点セグメントと接続セグメントを滑らかに繋ぐために，端点セグメントの螺旋の終点から  $0.5\pi$  だけ追加で描画したときの終点の  $x$  座標  $x_1$  を基準にベジェの制御点  $P_1$  の  $x$  座標を定める (図 5)。端点セグメントの螺旋が大きい場合は  $x_1$  よりやや螺旋側に，小さい場合は  $x_1$  よりやや主軸の中心側に制御点  $P_1$  の  $x$  座標を定めると滑らかに接続される。

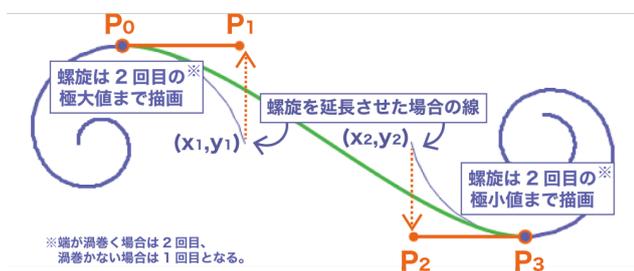


図 5 主軸の描画

### 3.2 葉

葉の設計について示す。葉は端点セグメントの螺旋を延長するように伸びる葉 (A 群) と螺旋に向かうように伸びる葉 (B 群) から構成される。各群について，ユーザは，パラメータを調整することで葉の数と伸び具合を制御できる。ただし，葉の数に関しては，現時点では各群 2 枚づつまでとする (図 6)。

螺旋を延長するように伸びる葉である A 群の表現にはベジェ曲線を用いた。葉の形状制御を考慮した上で螺旋の最高점에葉を滑らかに繋ぐには，前述の対数螺旋の式  $r'$  を用いるよりもベジェ曲線を用いる方が適することを実験的に確認している。

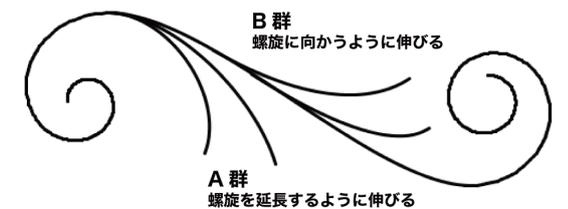


図 6 葉の実装結果

螺旋に向かうように伸びる葉である B 群の表現にもベジェ曲線を用いた。接続セグメントの途中から，前述の螺旋ではないもう一方の螺旋へ向かうように葉を伸ばす。接

続セグメントから滑らかに葉が生えるように，分岐点における微分値が連続するように制御点  $P_1$  を設定する (図 7)。次に，ユーザの制御により螺旋の大きさが変化した際にも，常に葉が螺旋の同一部分に向かって伸びるようにするために，予め螺旋上に目標点を指定し，その目標点と制御点  $P_1$  を通る直線上に制御点  $P_2$  と  $P_3$  が配置されるように設定した。ユーザは，目標点の高低を決めるパラメータを調整することで葉の伸び具合を制御できる。また，直線上のどの位置に制御点  $P_2$  と  $P_3$  を配置するかに関しては，葉と螺旋の衝突を回避するために，螺旋状の点のうち，葉が衝突しやすいと考えられる点  $C$  を基準に制御点  $P_2$  と  $P_3$  の  $x$  座標を決め，それに応じて  $y$  座標を決定する。

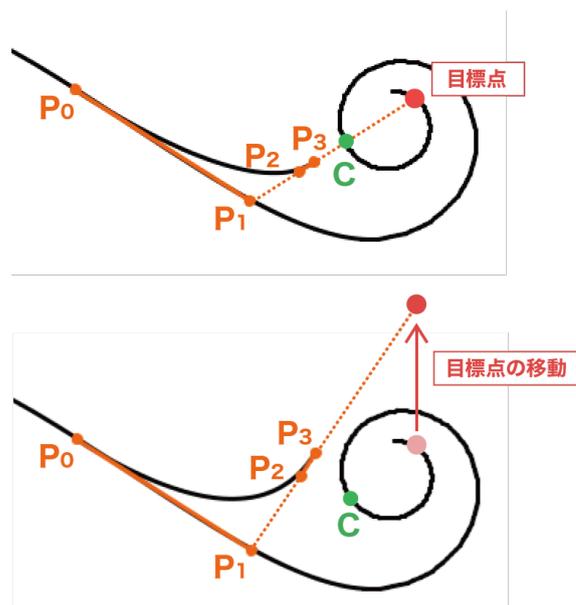


図 7 B 群の葉の描画

### 3.3 ユーザインタフェース

プロシージャルモデリングにおいてモデルの形状を変形する際，そのユーザインタフェースとして，数値入力ボックスやスライダの利用が一般的である。しかしスライダを使用した変形にはいくつかの手間が存在する。まずスライダはモデルとは別の領域にまとめて配置されていることが多く，変形するたびにモデルからスライダへ視線を移動させ，多数のスライダから対象とするものを探す必要がある。さらに垂直方向の形状変化がスライダでは水平方向の関係に変換されてしまうなど，操作の直感性を損なう場合がある。これらの問題を取り除き，より効率的な操作を可能とするために，本稿では円盤型の操作インタフェースを提案する。

ユーザは，モデルに直接取り付けられた円盤型のコントローラを操作することで，螺旋の内径，外径，広がり具合，渦巻きの有無，また，葉の数，伸び具合を制御できる (図 8)。円盤型コントローラは 2 種類ある。1 つ目の円盤型コ

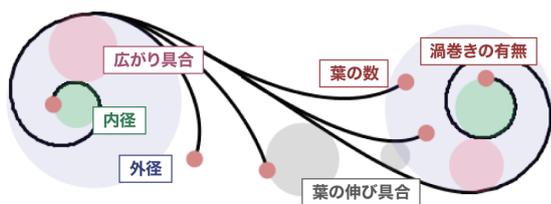


図 8 円盤型コントローラの詳細

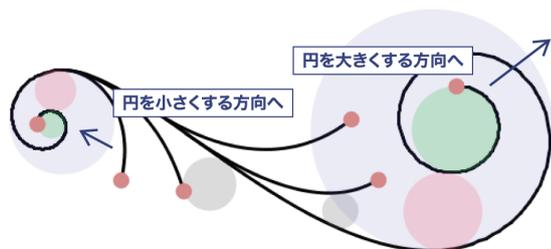


図 9 外径を制御

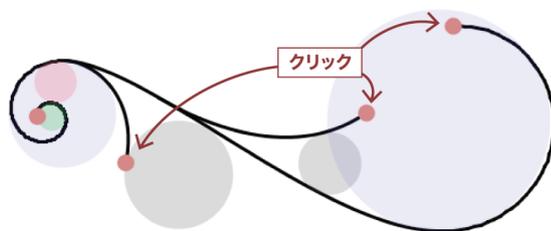


図 10 葉の数や渦巻きの有無を変更

ントローラは、螺旋の上に重なるように、あるいは葉に接するように取り付けられており、ドラッグ操作により円盤の大きさを変化させることで、それに対応したモデル部分の大きさが連動して変化する (図 9)。2つ目の円盤型コントローラは、螺旋の先端、あるいは葉の先端に取り付けられており、クリックすることで渦巻きの有無、葉の数が変化する (図 10)。各円盤型コントローラは、果たす機能にそれぞれ統一性があり、ユーザは容易に操作方法を習得できると考えている。

次に円盤型コントローラの描画法について示す。図 11、図 12 に示すように、A 群及び B 群の葉の伸び具合を制御する円盤コントローラは、葉上の点  $P_1$  における接線  $l_1$  と、主軸上の点  $P_2$  における接線  $l_2$  の両方に接し、かつ点  $P_1$  を通るような円によって定められる。

最後に、円盤型コントローラの実装手順について示す。本システムでは、まず、スライダでモデルの形状を制御できるように実装した。その後、スライダの機能を円盤型コントローラに置き変えた。スライダには、Processing で GUI を扱うためのライブラリである ControlP5 を使用した。これにより、円盤型コントローラを操作すると、スライダおよび形状制御のための各パラメータが連動して変化する、モデルの変形に反映される。

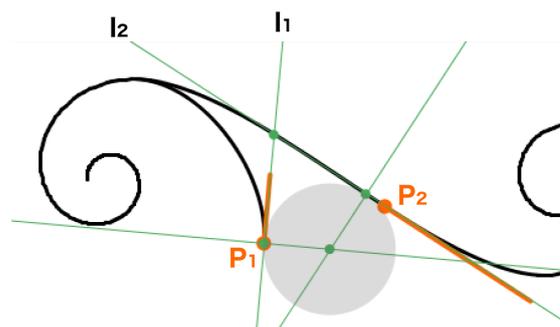


図 11 A 群の葉に接する円盤型コントローラ

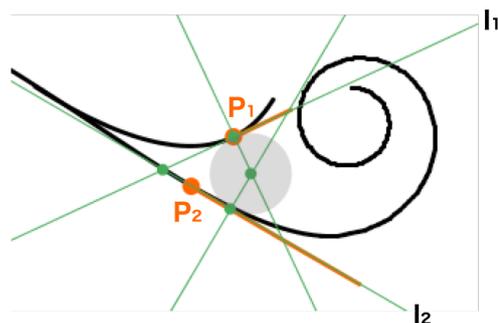


図 12 B 群の葉に接する円盤型コントローラ

#### 4. おわりに

本稿では、自動生成した波線型のアカンサス曲線を自由に形状制御できるシステムを提案した。さらに、直感的な形状制御を可能とするユーザインタフェースとして、曲線モデルに直接取り付ける円盤型のコントローラを提案した。結果として、図 13 に示すような、先端の螺旋形状や葉の生え具合の異なる曲線を短時間で多様に制作することができた。

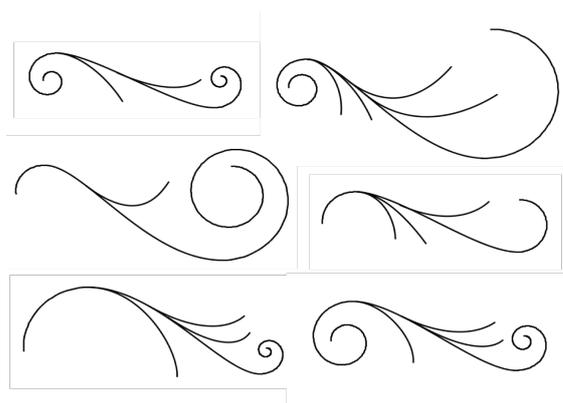


図 13 形状制御の成果物

制作した曲線パーツを 3DCG コンテンツの背景モデルへ活用するには、複数個のパーツを組み合わせるバランス良く構成、配置する作業が必要である。曲線パーツの三次元化及び、配置を自動化できるシステムへの拡張が今後の課題である。

## 参考文献

- [1] 平岩沙和, 鶴田直也, 茂木龍太, 近藤邦雄. アカンサス模様の3次元パーツ分類と装飾モデリング (応用論文). 第27回 Visual Computing(VC 2019), 2019
- [2] Stephan Duquesnoy — Bloom, 2022-07-13 8:27, <https://twitter.com/stephanduq/status/1547180833433419776>, (参照: 2022-12-20)
- [3] Franz Sales Meyer, HANDBOOK OF ORNAMENT, Dover Publications, (1957)
- [4] 康海飛, 新装版 図解ですべてわかる世界の装飾デザイン見本帳, エクスナレッジ, (2022)
- [5] 巴山 竜来, 数学から創るジェネラティブアート - Processing で学ぶかたちのデザイン, 技術評論社, (2019)