

自然造形物・人工物における曲線の特徴解析

中嶋 信幸[†] 栗原 祐介[†] 原田 利宣^{††} 高木 佐恵子^{††} 吉本 富士市^{††}

[†] 和歌山大学大学院システム工学研究科

^{††} 和歌山大学システム工学部

自然造形物において、人工物で使われていない美しい曲線があるならば、それを形状デザインに利用することが考えられる。本稿では、曲線の特徴を曲率変化レベルで解析する方法を提案する。また、その方法を用いて自然造形物や人工物における様々な曲線を解析し、どのような特徴をもっているかを示した。その結果、デザイナーの意図する4種類の曲線群において、人工物については円弧型、自然造形物については発散型のものが多く存在することがわかった。

Analysis of Characteristics of Curves in Natural and Artificial Objects

Nakashima Nobuyuki[†] Kurihara Yusuke[†] Harada Toshinobu^{††} Takagi Saeko^{††} Yoshimoto Fujiichi^{††}

[†] Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

^{††} Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

If attractive curves are in natural objects which are not used in artificial objects, they may be applied to shape design. In this paper, we propose a method for analyzing characteristics of curves using their curvature variation. By the method, we analyzed curves in natural and artificial objects, and showed their characteristics. As a result, in curve group of four types intended by designers, accelerative type curves mostly existed in natural objects, and circle arc type curves mostly in artificial objects.

1 はじめに

自然界に見られる曲線や非定型な形は、人間の目に優しく、安らぎを与えるものが多い。デザイナーがそれらの形をイメージし模倣することで、自然界の魅力的な形を工業デザインや造形芸術に盛り込むことは少なくない [1]。これはマクロなレベルでの自然の形の利用である。

これに対して、もう少しミクロなレベルでの自然の形の利用も考えられる。たとえば、曲線の曲率変化の特徴を利用することである。そのためには自然造形物における曲線がどのような特徴をもっているのかを、曲率変化レベルで解析しなければならないが、そのような例はほとんど見られない。

本稿では、まず様々な曲線の特徴を曲率変化レベルで解析する方法を提案する。次に、それを用いて自然造形物、人工物における曲線の特徴を解析し、その結果を示す。

2 自然造形物の形の利用と解析方法

自然造形物の形についてのマクロなレベルでの利用例として、人体を模倣したコカコーラのボトル [2]、アホウドリを模倣したデスク・ライト [1]、

そして、カブトムシを模倣したフォルクスワーゲン社の自動車ビートルなどがある。これらは、デザイナーが自然造形物の大まかな形をイメージしてデザインしたもので、その形を構成する曲線がミクロなレベルまではとらえられていない。逆にミクロなレベルでの利用例として、オーム貝を模倣したデザインの時計がある。これはオーム貝の形が螺旋という曲線としてとらえられている。

曲線の性質の解析方法には、フーリエ解析、曲率プロット、曲率対数分布図 [3] などがある。フーリエ解析は、周波数に対してパワースペクトルを表したものである。これは曲線全体の抽象度や単純化具合がわかるが、曲線の性質*はとらえづらい。次に、曲率プロットは曲線の路長パラメータに対して曲率の値を描いたものである。これは曲線全体の大まかな曲率変化を見ることができ、曲線の性質を具体的にとらえづらい。最後に、曲率対数分布図は曲線の曲率半径とその曲率半径が曲線上に現れる長さの関係を両対数座標系上に表現したものである。これは、解析できる曲線は曲率単調曲線に限られるが、デザイナーの曲線に対する

* 曲率変化の仕方

印象と対応づけて曲線の性質をとらえることができる。したがって、形状デザインへ応用することを考えるとき、自然造形物における曲線を曲率変化レベルまで解析できる曲率対数分布図がよい。

3 曲線の特徴解析方法

曲率対数分布図を用いて曲線の特徴解析をする手順は以下のとおりである：(1) 曲線あてはめ、(2) 曲率単調曲線に分割、(3) 曲率対数分布図による曲率単調曲線の特徴解析。ここで、曲率単調曲線とは、曲線の一方の端点からもう一方の端点へ様に曲率が増加、または減少する曲線のことである。

計測によって得られた曲線データは点列データであり、そのままでは曲率単調曲線に分割することはできない。そこで、点列データに対して曲線あてはめを行い曲率を計算する。本研究では、計測で得られた曲線データに対して2つの曲線あてはめを用いた。その1つはGA スプラインあてはめ [4] である。GA スプラインあてはめは、複数のセグメントに分かれている曲線のあてはめに適している。もう1つは多項式近似である。多項式近似はGA スプラインとは逆で、セグメントに分かれていない単純な曲線に適している。

次に、あてはめた曲線の曲率を算出し、曲率プロフィール[†]を表示する。そして、それを参考にしながら曲線データを曲率単調曲線に分割する。曲率単調曲線は以下の3つの条件を満たしているものとする：(1) 平面曲線、(2) 交叉しない曲線、(3) 開いた曲線。

最後に、曲率対数分布図により分割した各曲率単調曲線の特徴を解析する。図1に曲率対数分布図の例を示す。曲率対数分布図による曲率単調曲線の特徴解析では、そのグラフの傾きに曲線の性質があらわされる。

曲率単調曲線の基本型は、図2に示すように、グラフの傾きが正の収束型、0の定速型、負の発散型、グラフに傾きが見られず、曲率が変化しない円弧型の4つに分けられる。例えば、傾き正の収束型の曲率単調曲線は、曲率半径の大きさの変化量が曲率半径が小さい方から大きい方に向かって収束しながら増加するものをあらわす。なお、上記の基本型だけでなく、曲率単調曲線には収束型と円弧型の組み合わせのように、基本型を組み合わせた複合型のものもある。

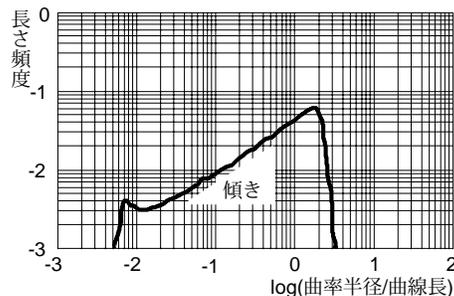


図 1: 曲率対数分布図



図 2: 曲率対数分布図の基本型

4 特徴解析の結果

本章では、自然造形物や人工物を実際に計測し、得られた断面曲線や輪郭曲線について特徴を解析した結果を述べ、自然造形物と人工物の形を比較する。多くの昆虫、植物、工業製品について調べたが、ここではその中から自然造形物3つ、人工物1つを示す。

なお、断面曲線や輪郭曲線をあらわす点列データは、自然造形物や人工物の実物を非接触式3次元形状計測機 InSpeck3D-M[‡]で計測して獲得した。ただし、蝶の羽根など非接触式3次元形状計測機では計測不可能なものに関しては、その写真を2次元ディジタイザ DH-973-00[§]で計測した。

4.1 自然造形物における曲線の特徴解析

4.1.1 瓢箪

実物の瓢箪 (図3) の断面曲線を計測し、GA スプラインあてはめを行った。図4にその曲率プロフィールを示す。そして比較的うまくあてはめられた部分曲線 01, 02, 03, 04, 05 の特徴を解析した (図5, 6)。その結果、曲線 01 は円弧型、曲線 02, 03, 04, 05 は発散型の曲率単調曲線であることがわかった。

4.1.2 ダチョウの卵

ダチョウの卵 (図7) の輪郭曲線を計測し、多項式近似を行った。図8にその曲率プロフィールを示す。そして曲率単調曲線をあらわす部分曲線と

[†] 曲線上に曲率半径をスケール倍して表示したもの

[‡] カナダ InSpeck 社製

[§] セイコーインスツルメンツ社製

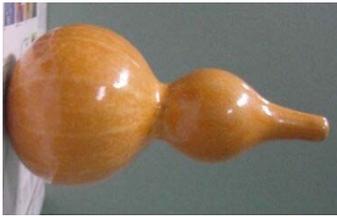


図 3: 瓢箪

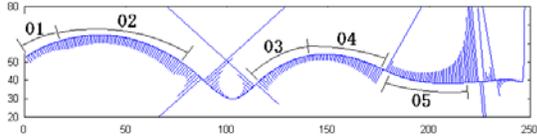


図 4: 瓢箪の断面曲線の曲率プロファイル

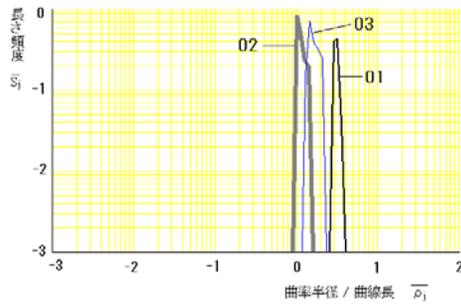


図 5: 瓢箪の曲線 01, 02, 03 の曲率対数分布図

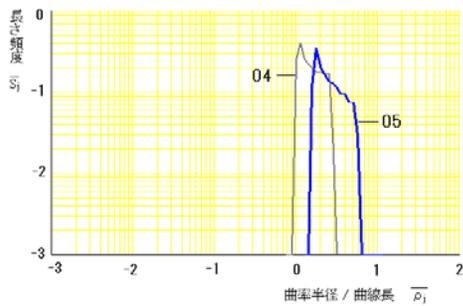


図 6: 瓢箪の曲線 04, 05 の曲率対数分布図



図 7: ダチヨウの卵

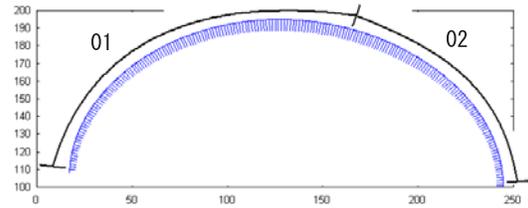


図 8: ダチヨウの卵の輪郭曲線の曲率プロファイル

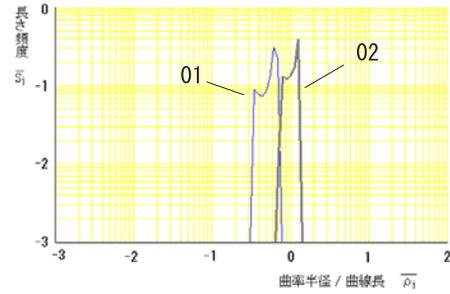


図 9: ダチヨウの卵の曲線 01, 02 の曲率対数分布図



図 10: カブトムシ

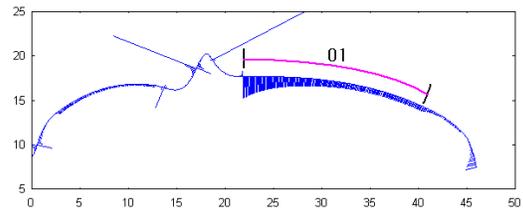


図 11: カブトムシの輪郭曲線の曲率プロファイル

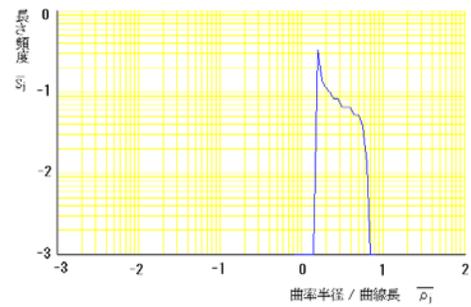


図 12: カブトムシの輪郭曲線の曲率対数分布図



図 13: 電話の受話機

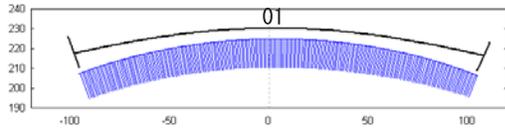


図 14: 受話機の輪郭曲線の曲率プロファイル

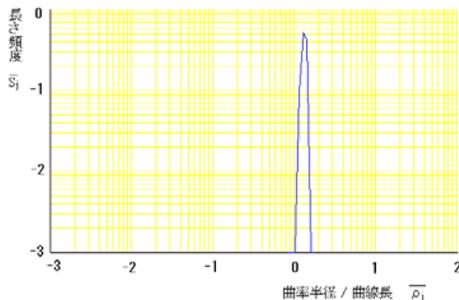


図 15: 受話機の輪郭曲線の曲率対数分布図

して、曲線 01, 02 を解析した (図 9)。その結果、曲線 01, 02 共に微妙な曲率の大小はあるが、曲率半径の小さい側、大きい側に円弧型で構成された複合型の曲率単調曲線であることがわかった。

4.1.3 カブトムシの断面曲線

実物のカブトムシ (図 10) の断面曲線データを計測し、GA スプラインあてはめを行った。図 11 にその曲率プロファイルを示す。そして比較的うまくあてはめられた部分曲線 01 の特徴を解析した (図 12)。その結果、曲線 01 は、発散型の曲率単調曲線であることがわかった。なお、図 10 と図 11 とでは、カブトムシの頭部と腹部の間の形が異なるが、これは非接触式形状計測機によく見られる計測ミスのためである。

4.2 人工物における曲線の解析

実物の電話の受話器 (図 13) の断面曲線を計測し、多項式近似を行った。図 14 は曲率プロファイルである。そして曲線 01 の特徴を解析した (図 15)。その結果、曲線 01 は円弧型の曲率単調曲線であることがわかった。

4.3 考察

自然造形物では、瓢箪、ダチョウの卵、カブトムシにおける曲線で示したように、発散型や円弧型の曲率単調曲線がみられた。また、人工物では、電話の受話器における曲線で示したように、円弧型の曲率単調曲線がみられた。

4.1 節で示した解析結果以外では、蝶の羽根の輪郭曲線や貝殻の断面曲線において定速型の曲率単調曲線が多くみられた。また、自動車の中央断面曲線では収束型の曲率単調曲線も多くみられた。

このように、自然造形物には人工物にはあまり見られない魅力的な曲線がある。これらを形状デザインに利用すれば、デザインの多様性を増すことができると考えられる。

5 まとめ

本稿では曲線の特徴を曲率変化レベルで解析する方法を述べた。またそれを用いて自然造形物や人工物における輪郭曲線や断面曲線の特徴を解析した。その成果は以下のとおりである。

- 1) 自然造形物における曲線を構成するものとして、発散型、円弧型のものがあつた。特に曲率半径が発散しながら大きくなっていく発散型の曲線が多かつた。
- 2) 人工物における曲線を構成するものとして、円弧型のものが多くあつた。

今後の課題として以下のことが挙げられる。

- 1) 自然造形物、人工物における曲線について詳しく特徴比較をするには、さらなるサンプルデータの充実が必要である。
- 2) 自然造形物においては、その存在地や生態、人工物においては、設計や製造過程について分類した上で、各々自身の内においても曲線の特徴解析をする必要がある。

参考文献

- [1] 三井 秀樹: 形之美とは何か, 日本放送出版協会, 2000.
- [2] 栄久庵 憲司: インダストリアルデザインが面白い, 河出書房新社, 2000.
- [3] 原田 利宣, 中嶋 信幸, 栗原 祐介, 吉本 富士市: 視覚言語を用いた曲線の自動フェアリングシステム, デザイン学研究, Vol. 47, No. 5, pp. 21-28, 2001.
- [4] 吉本 富士市, 原田 利宣, 森山 真光, 吉本 芳英: 実数を遺伝子とした遺伝的アルゴリズムによるデータあてはめ, 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 1, pp. 70-82, 2000.