

## 事例に基づく自動車外形形状デザイン支援システム

## Study on Automobile Design Assistance by Examples of Curves

原田利宣\*1

Toshinobu Harada

\*1和歌山大システム工

Wakayama University

We proposed a quantitative analysis method of the characteristics of a curve, for finding what an aesthetic curve is. A number of curves drawn by designers were analyzed by this method. As a result, we found that the designer controlled the curvature change with a self-affine property, when he produced a curve in design work. In other words, the designer sees a curve with a self-affine property as an aesthetic curve. On the basis of this fact, we developed five types of curves which have the self-affine property. Furthermore, we made 'drawing curves' from these curves as 'visual language'. We clarified that it was available to apply an ellipse to production of 'drawing curves'.

## 1.はじめに

従来の曲線に関する一連の工学的研究は、デザイナーが指定した曲線の通過点を滑らかに通る曲線（補間問題）、もしくは極力少ないずれの範囲内で通過点を通る曲線（近似問題）の創成を目的としたものであり、デザイナーが指定した曲線の通過点を絶対的なもの、言い換えると、精度よく正しいものと仮定した上での研究であった。しかし、デザイナーが指定した曲線の通過点は、やはり人間の制御系としての精度の問題から、かなり"ラフ"なものであることが、筆者らの研究により明かにされた[注1]。

そこで、デザイナーは曲線のどのような"性質"を制御しようとしているのか、またデザイナーの求める美しい曲線（面）とは何かについて研究を行った[注2]。この一連の研究の結果、デザイナーは曲線全体を通して「曲率変化の仕方（リズム）」と「ポリウム（ここでは、曲線とその両端点を結んだ直線で囲まれた面積と定義）」を制御していることが明らかになった。よって、筆者らは、これら2つをデザイナーの制御したい曲線の"性質"と定義した。また、デザイナーは曲線の「曲率変化の仕方」を、よりシンプルなパターン（詳細は後述）にしようとして試みていることも確かめられた。これとは反対に、この"性質"を制御して、曲線を創成する手法の開発も行った[注3]。さらに、この手法により創成された曲線をCADシステムやリバースエンジニアリングシステムに応用した。

## 2.曲線の性質の定量化手法開発と曲線分析

筆者は曲線の性質を定量化する手法を開発した。この定量化手法の概略を以下に説明する。ただし、本定量化手法の対象となる曲線は、下記の条件を満たしているものである。

1) 平面曲線 2) 曲率単調曲線 3) 交叉しない曲線 4) 開いた曲線

まず、この「曲率変化の仕方」と「ポリウム」を同時に定量化する定量化手法とは、サンプル曲線をコンピュータ上でBezier曲線により補間を行い、その曲線上の各構成点における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する手法である。この定量化手法で描かれる図を、「曲率対数分布図」と呼ぶ。この「曲率対数分布図」

連絡先：原田利宣，和歌山大学，〒640-8510

和歌山市栄谷930，Tel.Fax: 073-457-8483,

harada@sys.wakayama-u.ac.jp

は、以下のようにして求めることができる(図1)。

まず、全曲線長を  $S_{all}$ 、部分曲線長を  $s_j$ 、ある構成点  $a_j$  における曲率半径を  $r_j$ 、さらに、曲率半径区間を  $\bar{r}_j$  と定義し、また、曲線の構成点  $a_j$  における曲率半径  $r_j$  は、曲線上の構成点  $(a_1, a_2, \dots, a_n)$  を等間隔おきに抽出し、各構成点における曲率半径  $(r_1, r_2, \dots, r_n)$  を算出することにより求める。

次に、曲率半径区間  $\bar{r}_j$  とは、 $r_j/S_{all}$  がとり得る値の範囲  $[0.001 \sim 100]$  の常用対数値  $[-3 \sim 2]$  を100等分した区間を指す。つまり、 $-3+0.05(m-1) \leq \bar{r}_j < -3+0.05m$  ( $m$  は  $1 \sim 100$  の整数値) である。さらに、 $\bar{r}_j$  に対して、 $r_1/S_{all}, r_2/S_{all}, \dots, r_n/S_{all}$  の常用対数値が、それぞれどの区間に含まれるのかを集計し、その個数 ( $=N_j$ ) から各  $\bar{r}_j$  が現れる部分曲線長  $s_j$  ( $=$  構成点間距離  $\times N_j$ ) を求める。つまり、 $S_{all} = s_1 + s_2 + \dots + s_{100}$  となる。さらに、部分曲線長  $s_j$  の全曲線長  $S_{all}$  に対する比率を表す「長さ頻度」 $\bar{s}_j (= \log_{10}(s_j/S_{all}))$  を設定した。

「曲率対数分布図」は、横軸に  $\bar{r}_j$  を、縦軸に  $\bar{s}_j$  をとることにより、curve C (図1中) として求められる。実際には、この「曲率対数分布図」をXY直交座標系に見立てたときの曲率変化の軌跡であるcurve Cの「傾き  $a$ 」のパターンにより曲線を分類し、それと照合することによって、サンプル曲線の曲線式を同定できる。

この定量化手法を用いて、放物線、対数曲線などいくつかの初等関数を分析すると、「傾き  $a$ 」が一定(例えば、放物線ならば  $2/3$ 、対数曲線ならば  $1/2$ )の直線が描かれる。この「傾き  $a$ 」のことを「リズム」と呼び、これが曲線全体において一様に

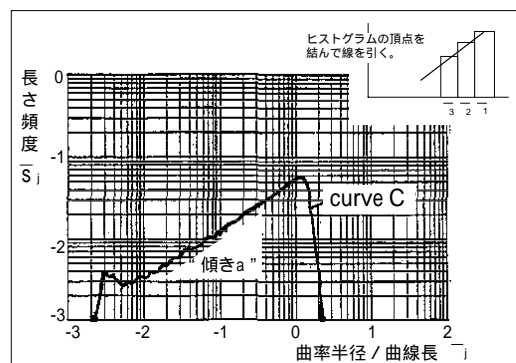


図1 「曲率対数分布図」の説明図

	curve C の '傾き'	曲線例	印象
単調リズム曲線	発散型  '傾きが「負」'		「切れのある」 「勢いのある」
	定速型  '傾きが「0」'		「安定した」 「静的な」
	収束型  '傾きが「正」'		「線にたまりのある」 「求心的な」
複合リズム曲線	山型  '傾きが「正」+「負」'		発散していた曲線がある境から収束していく印象
	谷型  '傾きが「負」+「正」'		収束していた曲線がある境から発散していく印象

図2 体系化された視覚言語

なるものを単調リズム曲線と呼ぶ。また、「曲率対数分布図」上の曲率半径変化を表わす“傾き a”，すなわち“リズム”が一定になることは、その曲線が自己アフィン性を持っていることを示している。自己アフィン性とは、曲線上の任意の2カ所の位置で曲線を切り取って、その曲線を縦横比が異なる任意の倍率で拡大（アフィン変換）したときに元の曲線と一致する性質のことをいう。言い換えると、曲線が自己アフィン性を持つということは、任意2カ所の位置で切り取られた曲線の一部が、常にその曲率半径変化において元の曲線の持つ“リズム”をそのまま保っていることを指す。本定量化手法を用いて、放物線、対数曲線などいくつかの初等関数を分析すると、“傾き a”が一定（放物線ならば2/3、対数曲線ならば1/2）の直線が描かれる。この“傾き a”，すなわち“リズム”が曲線全体において一定になるものを単調リズム曲線と呼ぶ。

次に、曲線を視覚言語化するには、ある概念に基づいた分類・体系化が必要不可欠である。そこで、筆者らの研究結果 [注1, 2] から、曲線の印象の違いによって、それらを分類・体系化することを考えた。よって、単調リズム曲線を分類・体系化する場合、その印象から「曲率対数分布図」上の“傾き a”が“正”、“0”、“負”の大きく3系統に分類できる（図2参照）。また、それぞれの曲線を「収束型」、「定速型」、ならびに「発散型」と呼ぶことにする。それらの曲線の印象も併せて図2に示す。よって、これら3系統の曲線を単調リズム曲線における視覚言語の系統とする。

さらに、本論でいう複合リズム曲線とは、一本の曲率単調曲線において、前述の「曲率対数分布図」に、2種類以上の単調リズム曲線が表われる曲線をいう。つまり、2種類以上の単調リズム曲線が複合して、一本の曲率単調曲線になっているものを指す。この複合リズム曲線についても、筆者らの研究結果 [注2] から、曲線の印象の違いによって、それらを「谷型」と「山型」に分類した（図2参照）。「谷型」とは「曲率対数分布図」の“傾き a”が“ ”と変化するもので、「山型」とは「曲率対数分布図」の“傾き a”が“ ”と変化するものである。「谷型」の曲線の印象としては、「収束していく曲線がある境に急に加速し発散するような印象」である。「山型」はその逆の印

象となる。つまり、単調リズム曲線にない、一本の曲線の中に2種類のリズムが存在する“抑揚”のある曲線となる。それらの曲線の印象も併せて図2に示す。

さらに、厳密には曲率単調曲線ではないが、便宜上、曲率半径が一定であるシングルRも上記5タイプに加えて計6タイプを曲率単調曲線における視覚言語とする。

### 3. 創成した自己アフィン性を有する曲線の応用

#### 3.1カーブ定規への応用

“傾き a”が、“正”、“0”、“負”の単調リズム曲線のカーブ定規を設計し、自動車の曲面設計への応用を試みた。その結果、いくつかの成果を得ることができ、単調リズム曲線の有効性を確認した。

#### 3.2視覚言語のCADシステムへの応用

視覚言語としてカーブ定規をライブラリーの中に備えたCADシステムを開発した。本システムでは、希望の曲線の印象に合ったカーブ定規をライブラリーからドラッグし、自由に拡大・縮小・回転・移動し位置決めを行い、さらに、それら曲線を組合せることにより、形状データを作成することができる [注4]。

#### 3.3視覚言語のリバースエンジニアリングへの応用

計測した曲線を視覚言語へ変換するリバースエンジニアリングシステムを開発した [注5]。本システムでは、クレイモデル制作時のノイズや計測ノイズを含む3次元計測データからキーラインを抽出し、スプラインあてはめを行い、いくつかの曲率単調曲線に分割を行う。次に、各々の曲率単調曲線を前述の定量化手法により分析しノイズを取り除き、視覚言語に置換する。この操作をすべての曲線に対して行い、最後にそれら視覚言語を元の位置に再配置し、ノイズのないキーラインを作成する。さらに、このキーラインをもとに、曲面を創成することができる。

### 4. まとめ

本研究で創成した自己アフィン性を有する曲線が、CADシステムやリバースエンジニアリングに完全にフィットし、実用化されるには以下のような解決しなければならない問題が残っている。

- 1) 視覚言語を応用したCADシステムをより使いやすくするため、GUIの最適化という課題がある。
- 2) 視覚言語のリバースエンジニアリング技術への応用において、クレイモデル制作時のノイズや測定ノイズを消して視覚言語に置換する際に、複数の丸め方が考えられるが、どのような曲線の場合、どのような丸め方が最適かを研究していく必要がある。

### 注

- 1) 原田他：曲線の性質に関する定量化研究, デザイン学研究, 第40巻第6号, pp.9-16, 1994
- 2) HARADA, T: An aesthetic curve in the field of industrial design, proc. of IEEE symposium on VL '99, 1999
- 3) 原田他：性質制御による曲線創成手法, デザイン学研究, 第41巻第4号, pp.1-8, 1994
- 4) 原田他：視覚言語を用いた曲線創成システム, デザイン学研究, 第45巻第3号, pp.63-70, 1998
- 5) HARADA, T: Automatic Curve Fairing System Using Visual Languages, Proc. of IV2001, pp.53-62, 2001