

形状印象の定量化に基づく形状創生法に関する研究

Study on Method for Shape Generation Based on Quantification of Shape Impression

80716802 武田圭司(Keiji Takeda) Supervisor 青山英樹(Hideki Aoyama)

1 緒言

ニーズの多様化に伴い、顧客が商品価値を判断する要素として意匠デザインの重要性が認識されてきている。そこで、デザイナーの感性を生かし高品質なデザインを実現するために、デザインの意匠性を定量的に分析評価し、その結果に基づいて意匠性を向上できる CAD システムが求められている。

意匠設計の初期の段階において、デザイナーはスケッチを繰り返しながらイメージ形状を具現化していく。このプロセスにおいて、スケッチ曲線やスケッチ曲面の形状イメージを定量的に評価し、その評価指標に基づいてデザイン形状を制御することができれば、イメージを具現化する上で有効なデザイン支援が可能になると考えられる。

本研究では、曲線や曲面形状のイメージを定量的に評価する指標を提案し、それに基づいてデザイン形状を創生するシステムを開発することを目的としている。

2 形状評価指標の提案

デザイナーは、曲線・曲面の“曲率の変化の度合い”や“形状の複雑さ”を暗に意識しながら形状の具現化（デザイン）を行っているといわれている¹⁾。“曲率の変化の度合い”を表す指標として、曲線に含まれる曲率とその割合（度数）を両対数軸で表したときの度数分布図（曲率対数分布図という）の分布の傾きが有効であるという提案¹⁾がなされている。

本研究ではこの“曲率対数分布図の傾き”に加えて、曲がり具合を定量化するための“曲率半径総和”、および曲率を出現頻度順に並べた“Zipf 分布図”、曲率分布の複雑さを定量化するための“曲率分布情報エントロピー”と形状の複雑さを定量化するための“フラクタル次元”を形状の印象を定量化する指標として提案する。曲面形状を評価対象とする際には、評価曲率として最大曲率と最小曲率を用いる。

2.1 曲率対数分布図

曲率対数分布は、曲線上の曲率半径の大きさとその頻度（度数）を両対数軸で表示したものあり、この分布の傾きにより曲線の評価する。同分布図を描く際に、曲率半径を曲線の全長で除することにより正規化する（曲面の場合は全面積で除す）。原田氏は、この分布曲線が正の傾きの場合を“線にたまりがあり求心的な曲線”、負の傾きの場合を“切れがあり勢いのある曲線”と分析している¹⁾。

2.2 曲率半径総和

図1は、曲率対数分布図上において同じ傾きをもつ二つの曲線を示している。このように、同じ傾きを有する曲線でも、存在する曲率半径によって異なった印象となる。そこで、これらの曲線の印象の違いを定量的に示すために、上記の方法で正規化した曲率半径の値を全て足し合わせた“曲率半径総和”という指標を提案する。この値が大きいほど曲率半径が大きい領域に分布していること、すなわち直線的な曲線であることを表す。

2.3 Zipf 分布図

Zipf の法則²⁾とは、ある集合において、事象の出現頻度と出現順位がべき乗則に従うという法則であり、自然界や人間の活動における多くの事象がその法則に従うといわれている。

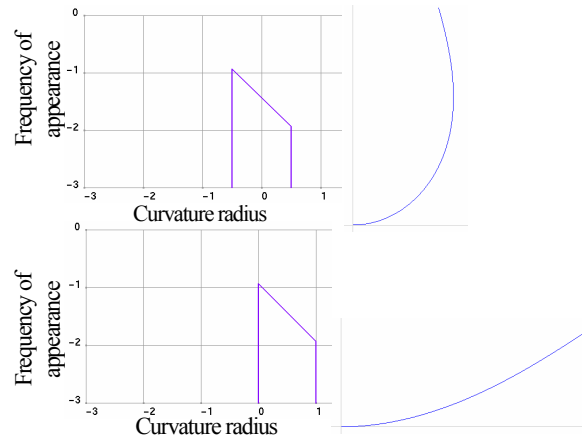


Fig.1 Distributional area and curve impressions

すなわち、 N を出現頻度、 s を出現順位、 k をべき指数とするとき、Zipf の法則は式(1)で表される。

$$N(s) = \frac{1}{s^k} \quad (1)$$

両対数軸において、事象の出現頻度 N を縦軸、出現順位 s を横軸として、その分布図を作成する。これを Zipf 分布図といい、Zipf の法則に従うとき、Zipf 分布図は直線で表される。曲線の曲率分布も Zipf 分布に従うとしたら、曲線の曲率に関する Zipf 分布直線への適合度を決定係数 R^2 により表し、Zipf の法則に対する適合度と曲線の印象を検討した。同時に、Zipf 分布図における直線の傾きと曲線の印象を調べた。

2.4 曲率分布の情報エントロピー

各曲率の出現確率から、シャノンの提唱する“情報エントロピー”の概念を用いて曲率分布のばらつき具合を評価する。情報エントロピーは式(2)より求められる³⁾。

$$S = - \sum_{i=1}^W p_i \log_2 p_i \quad (2)$$

ここで、 p_i はある曲率半径区間の出現頻度、 W は曲率半径区間の総数である。式(2)より導出される情報エントロピーの値は、曲率分布が狭ければ小さく、曲率分布が広がれば大きくなるため、曲率分布の複雑さを評価する指標となる。

2.5 フラクタル次元

フラクタル次元は、形態の不規則さを表現する指標として用いられる。不規則さは自己相似性として説明され、フラクタル次元⁴⁾により定量的に示される。フラクタル次元が 1 に近い場合は直線的な印象であり、2 に近づくにつれて平面を充填する面的な印象形状となる⁴⁾。曲線が平面領域を、また曲面が空間領域をどの程度被覆しているかを表しているため、形状の視覚的な複雑さを評価する指標となる。本研究ではフラクタル次元をボックスカウンティング法⁵⁾を用いて算出している。

3 形状評価指標の検討

提案した四つの評価パラメータを検討するため、4種類40関数の曲線形状、4種類40関数の曲面形状、そして自然物の測定データから得られた27種類の曲線と29種類の曲面、人工物の測定データから得られた14種類の曲線と12種類の曲面に対して“曲率対数分布図”，“曲率半径総和”，“Zipf分布図”，“曲率分布の情報エントロピー”，“フラクタル次元”の傾向を調べた。形状評価指標として有意とみなされるパラメータについて検討した結果、以下のとおりまとめられる。

図2は、それぞれの曲線に関する“曲率対数分布図”の傾きの割合について示している。放物線、指数関数の“曲率対数分布図”の傾きは全て正の値を示し、自然物形状、人工物形状は、それぞれ-1.0~-0.6付近、-0.6~-0.4となっている。正弦波、スプライン曲線のそれは、それぞれ-0.2、-1.0付近となっている。

関数形状ではZipfの法則に従わないものもあったが、自然物形状や人工物形状ではほとんどがZipfの法則に従っている。Zipf分布図の傾きに関しては、図3に示すように、関数形状は自然物形状や人工物形状よりも小さく、スプライン曲線のみが自然物と同じ分布を示した。

上記の検討から、“曲率対数分布図”および“Zipf分布図”において曲線印象の指標となるパラメータが含まれていると判断し、“曲率対数分布図”の“傾き”，“最小曲率半径”，“最大曲率半径”および“Zipf分布図”の“傾き”，“最低順位”，“最小曲率半径”から曲線や曲面の形状を構築することとした。

4 感性言語を用いた形状創生システム

感性言語を用いて“曲率対数分布図”に関する三つのパラメータ（傾き，最大曲率半径，最小曲率半径），および“Zipf分布図”における三つのパラメータ（傾き，順位，最小曲率半径）を変化させ、曲線や曲面を生成するシステムを開発した。

4.1 感性言語の選定

曲線や曲面の形状印象を言葉で表すために、形状を形容する言葉35組70語の中からクラスタ分析によって類似の意味をなす言葉をまとめグループ化し、絞り込んだ。結果として、曲線形状、曲面形状を表現する8組16語の感性言語がそれぞれ選定された。

4.2 システムの概要

開発したシステムでは、入力を感性言語の因子負荷量総和、出力を曲率対数分布図における形状パラメータとする階層型ニューラルネットワークを用いた。18種類の曲線に対してSD法を用いた官能評価実験を行い、その曲線に対する感性言語の点数と対応する曲線の形状パラメータを学習データとして獲得した。形容詞対の評価はSD尺度を用い、形容詞対を両極として5段階でおこなった。同様に、25種類の曲面上のキャラクターラインに対しても評価実験を行った。学習を終えたシステムに、各感性言語の重みを入力することで、形状が創生される。図4に“あいまいな”という感性言語の重みを変更した際に生成された曲面の例を示す。

5 結言

本研究では、曲線形状や曲面形状の印象を定量的に評価する指標を提案し、それらを用いて曲線を創生するシステムを構築した。以下にその結果を示す。

- (1) 形状の評価指標として、“曲率半径総和”，“Zipf分布図”，“曲率分布情報エントロピー”，“フラクタル次元”の四

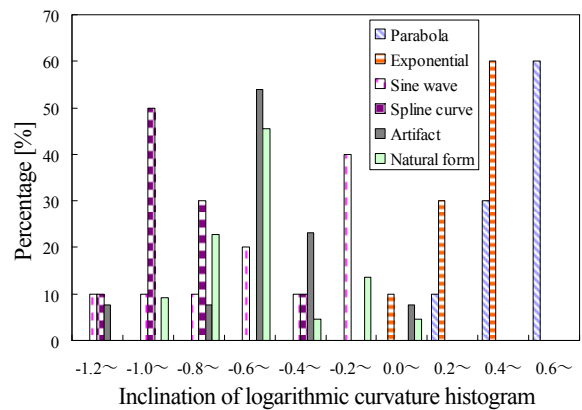


Fig.2 Percentage of LGH inclination distribution

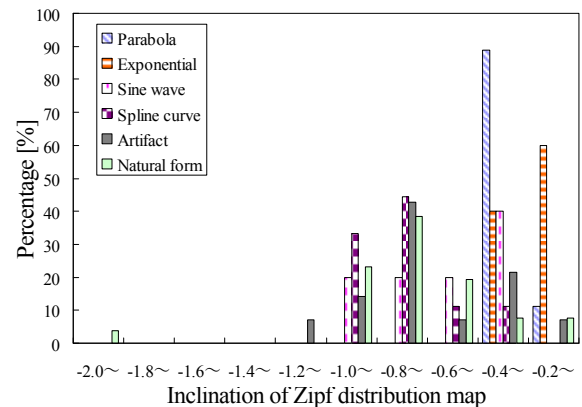


Fig.3 Percentage of Zipf inclination distribution

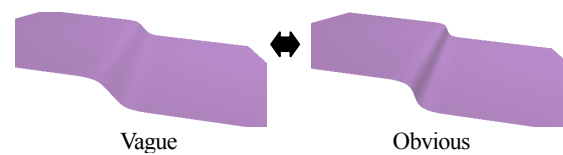


Fig.4 Execution result of the system

つを提案した。これらに加えて原田らによって提案された“曲率対数分布図”を用いたが、単独では曲線形状の評価が不十分であり“曲率半径総和”を同時に用いることで解決できる可能性を確認した。

- (2) 様々な形状に対して提案した指標を用いて傾向を調査した。その結果，“曲率対数分布図”，“曲率分布の情報エントロピー”，“Zipf分布図”において有意な差が見られた。
- (3) “曲率対数分布図”および“Zipf分布図”における形状パラメータを用いて、感性言語からニューラルネットワークを通じて形状を創生するシステムを構築した。

参考文献

- 1) 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.143 (1996), 21-28.
- 2) 福本 麻子, 塚田 浩二, 蔡 東生, 安村 通晃: 画像電子学会誌, Vol. 34, No.4 (2005), 311-318.
- 3) 戸田 盛和: エントロピーのめがね, 岩波書店, (1987), 38-45.
- 4) 高安 秀樹: フラクタル科学, 三笠書房, (1994), 1-4.
- 5) 石田 眞二, 堀口 敬: 公園景観の色彩と構図に関する評価手法の研究, 土木学会論文集 No.723 (2003), 63-71.