

119 形のマクロ情報「複雑さ」の定量化と曲線形状生成への応用

Quantitative Representation of Macroscopic Shape Information "Complexity"
and its Application for Curved Profile Generation

○ 氏家 良樹 (慶應大) 松岡 由幸 (慶應大)

Yoshiki UJIIE, Faculty of Science and Technology, Keio University, 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, 223-8522
Yoshiyuki MATSUOKA, Faculty of Science and Technology, Keio University, 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, 223-8522

From the human characteristic of recognizing the whole shape feature macroscopically, in curve design, it is important to grasp and control macroscopic shape information of curved profile. However, trial and error is required in order to control the curved profile to be set reflecting macroscopic shape information imaged by designer, because there is no useful method for controlling macroscopic shape information in the conventional computer aided design system. Firstly, this paper describes a guideline in the research of macroscopic shape information based on a hierarchical design model. Next, the paper describes a quantitative representation method of macroscopic shape information "complexity" and its application for curved profile generation.

Key Words: Macroscopic Shape Information, Complexity, Design

1. 緒 言

工業製品のスタイリングに幅広く活用されている曲線形状のデザインにおいては、全体の特徴を巨視的に認知しようとするヒトの認知特性⁽¹⁾から、曲線形状のマクロ情報の把握と操作が重要となる。しかし、CADをはじめとする現行の設計支援システムにおいては、寸法や曲率など、曲線形状のミクロな特徴を表現する形状情報の提示が主流であり、マクロ情報の把握はデザイナーや設計者にその多くを依存している。さらに、マクロ情報を操作するための具体的な方法が存在しないため、意図したマクロ情報を有する曲線形状を作成するために、デザイナーや設計者は試行錯誤を

繰り返す必要がある。そのため、曲線デザインにおいては、マクロ情報を定量的に表現する方法と、マクロ情報を操作する具体的な支援方法が望まれている。本報では、デザインの一般性を記述する階層型デザインモデルに基づく観点から、形のマクロ情報研究における指針を示すと同時に、曲線形状の「複雑さ」を事例としたマクロ情報の定量化法とその曲線形状生成への応用について述べる。

2. 形のマクロ情報研究における指針

形のマクロ情報研究における課題を、松岡の提唱による階層型デザインモデル⁽²⁾を用いて記述する(図1)。

形のマクロ情報としては、造形分野における構成原理、

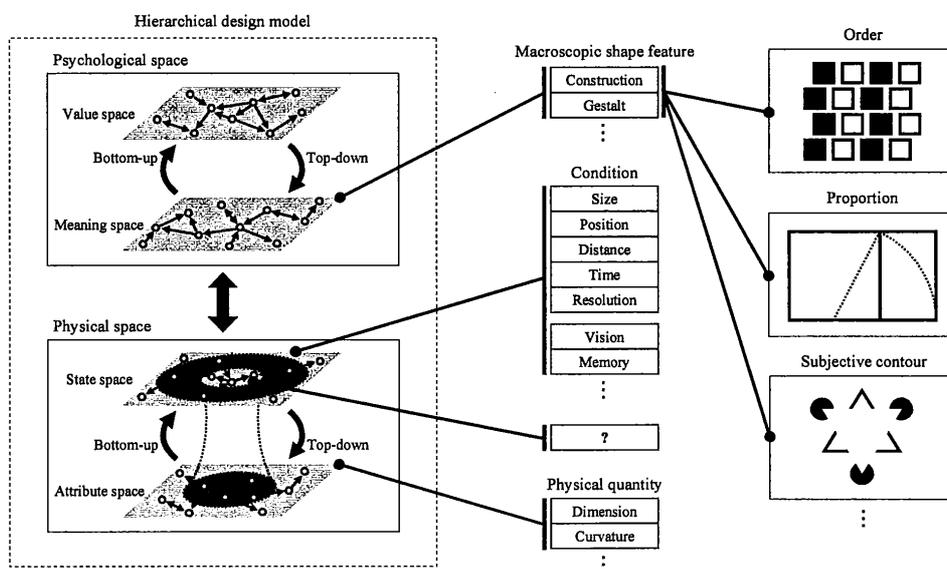


Fig.1 Study on macroscopic shape information based on hierarchical design model

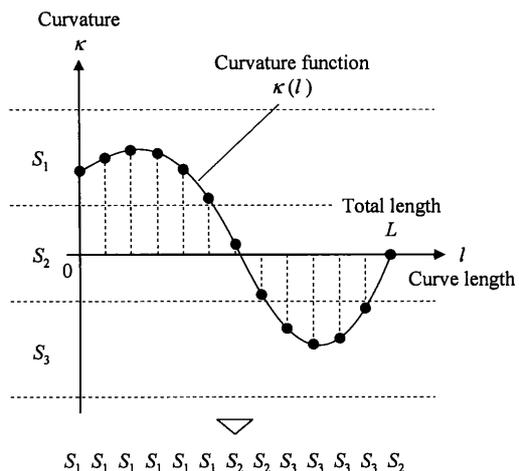


Fig.2 Extraction of curvature entropy based on curvature function

認知科学におけるゲシュタルトなどが挙げられる。しかし、そこでの知見は定性的なものであり、デザイナーや設計者はマクロ情報と形の物理量との関係を、定式化された形式知ではなく暗黙知として扱っている。また、両者の関係は、提示条件や個人差をはじめとした形状認知における様々な条件の影響を受けやすく、その扱いは難しいとされている。

階層型デザインモデルとは、デザイン空間を価値空間、意味空間、状態空間、属性空間の4階層に分け、デザイン行為を知識に基づいた階層内・階層間の推論として定義したデザインモデルである。同モデルにおいては、図1に示すように、マクロ情報である構成原理やゲシュタルトが意味空間内の要素に相当し、形から一意に定まる物理量である寸法や曲率などが属性空間内の要素に相当する。そして、前述した暗黙知は状態空間内の要素に相当し、形状認知における様々な条件が状態空間内の「場」に相当する。形のマクロ情報研究を進めるうえでは、「場」の変化による影響を適切に考慮したうえで、暗黙知として扱われてきた状態空間内の要素を解明することが重要である。

3. 「複雑さ」の定量化法

3.1 曲率エントロピーの活用

過去の研究^(3,4)においては、巨視的形狀特徴「複雑さ」を定量的に表現する指標として、マルコフ過程としての曲率関数から算出される平均情報量である曲率エントロピーを提案した。図2に示すように、曲率を κ 、曲線長を l 、曲率関数を $\kappa(l)$ 、曲線全長を L とおくと、曲率エントロピーは以下のように算出される。まず、曲線全長を任意の個数で等分割し標準化を行う。つぎに、曲率関数 $\kappa(l)$ の範囲を任意の個数 V で分割し、各区間に含まれる曲率に記号 S_i をあてはめ量子化を行う。そして、 V 種類の記号 S_i からなる記号系列をマルコフ過程としてとらえ、各記号の生起確率を q_i 、記号間の遷移確率を q_{ij} とおくと、曲率エントロピー H は次式のように定義される。

$$H = -\frac{1}{\log_2 V} \sum_{i=1}^V \sum_{j=1}^V q_i q_{i,j} \log_2 q_{i,j} \quad (1)$$

曲率エントロピーは、標準化と量子化における離散化のパラメータ設定に応じて算出される値が異なる。そのため、

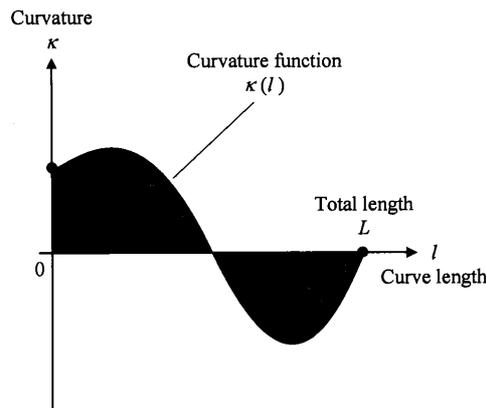


Fig.3 Extraction of curvature integration based on curvature function

前述した階層型デザインモデルにおける状態空間内の要素に相当する。任意のパラメータ設定において、曲率エントロピーが多様な曲線形状の「複雑さ」を表現しうることが確認されたもの^(3,4)、曲率エントロピーを活用するうえでは、形状認知における様々な条件の影響を考慮したパラメータ設定法構築が課題として指摘された。

3.2 曲率積分の活用

過去の研究⁽⁵⁾においては、巨視的形狀特徴「複雑さ」を定量的に表現するもう一つの指標として、曲線全長にわたる曲率の絶対値の総和である曲率積分を提案した。図3に示すように、曲率を κ 、曲線長を l 、曲率関数を $\kappa(l)$ 、曲線全長を L とおくと、曲率積分 I は次式のように定義される。

$$I = \frac{1}{2\pi} \int_0^L |\kappa(l)| dl \quad (I \geq 1) \quad (2)$$

曲率積分は、曲線形状の曲率関数から一意に定まる物理量であるため、前述した階層型デザインモデルにおける属性空間内の要素に相当する。多様な曲線形状において、曲率積分が「複雑さ」を表現しうることが確認されたもの⁽⁵⁾、曲率積分はヒトには認知されない微小なうねりによっても増加する性質を有している。そのため、「複雑さ」の定量化においては、曲線形状の提示条件における解像度という「場」を考慮した状態空間内の要素も算出する必要性が指摘された。そのため、ガウス関数を用いた曲線形状の平滑化による多重解像度表現から、解像度の変化に対する曲率積分の頑健性を定量的に表現する指標を算出し、曲率積分と併せて、マクロ情報「複雑さ」を定量的に表現する指標として提案した。

媒介変数で表現された平面曲線を

$$C(u) = (x(u), y(u)) \quad (3)$$

と表すと、分散 σ^2 のガウス関数

$$G(u, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{u^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

による平滑化は、両者の畳み込み(Convolution)により

$$x(u) \otimes G(u, \sigma) = \int_{-\infty}^{\infty} x(v) \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{(u-v)^2}{2\sigma^2}\right) dv \quad (5)$$

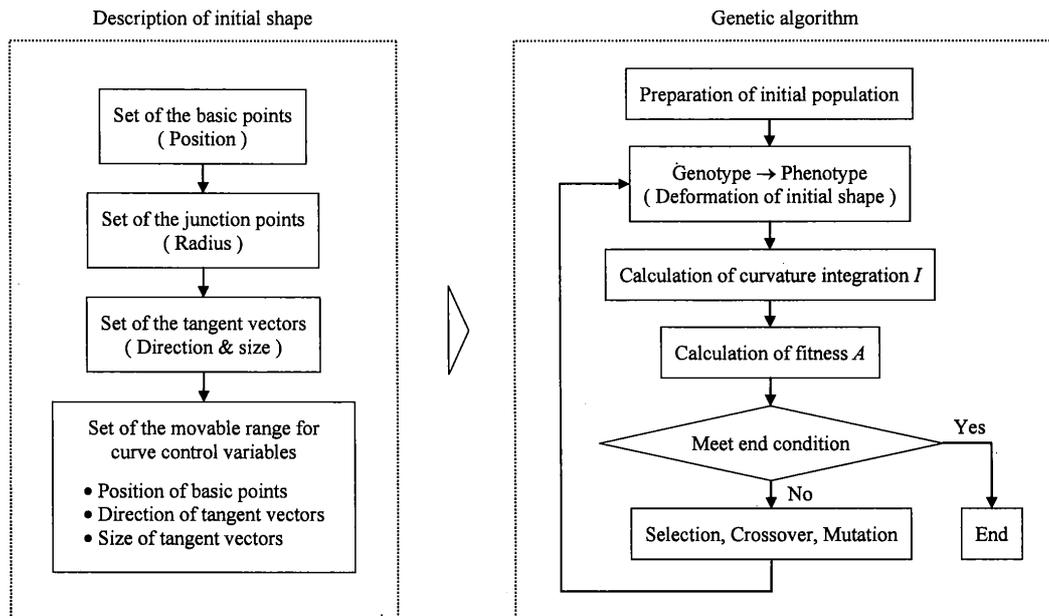


Fig.4 Algorithm of shape generation method

$$y(u) \otimes G(u, \sigma) = \int_{-\infty}^{\infty} y(v) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(u-v)^2}{2\sigma^2}\right) dv \quad (6)$$

と表される. 分散 σ^2 のガウス関数によって平滑化された曲線形状における曲率積分を $I(\sigma)$ とおくと, 解像度の変化に対する曲率積分の頑健性を表す指標 S は次式のように定義される.

$$S = \int I^*(\sigma) d\sigma = \int \frac{I(\sigma)-1}{I(0)-1} d\sigma \quad (7)$$

4. 曲線形状生成への応用

曲率積分を用いた曲線形状生成方法⁽⁶⁾を自動車サイドビューアウトラインのデザインへ適用し, 上記指標 S の有効性を検証した. 本形状生成方法においては, 初期形状および変形の許容範囲, 曲率積分の変化量を入力すると, 「複雑

さ」の変化を反映した多様な曲線形状が出力される. 形状生成の初期形状は3次 Bézier 曲線により記述し, 接線ベクトルの方向と大きさ, および接続点の位置を曲線制御変数とした. そして, 入力された曲率積分の変化量を反映した形状変形を, 曲線制御変数の組合せ問題ととらえ, 遺伝的アルゴリズムを用いた解探索を行うこととした. ここでは, 任意の個体における曲率積分の変化量と, 入力された曲率積分の変化量との差の絶対値がある閾値を下回った場合, その個体を解として採用した. 曲線形状生成方法のアルゴリズムを図4に示す.

適用の結果, 生成形状における「複雑さ」と曲率積分 I の自然対数の相関係数は0.79であったが, 「複雑さ」と曲率積分が対応しない生成形状の存在も確認された.

図5に, 曲率積分の等しい2つの生成形状を示す. 生成形状Aは, 含まれるうねりの大きさが十分認知可能であるため, 「複雑さ」との対応がとれていたが, 生成形状Bは,

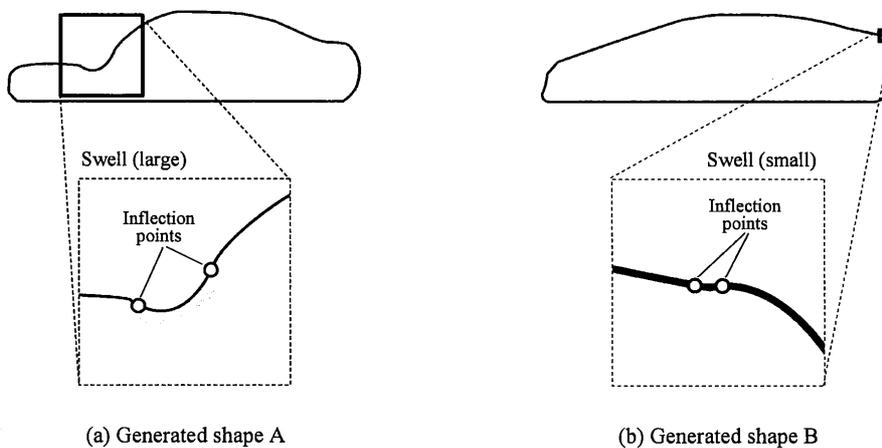


Fig.5 Swell (large scale and small scale)

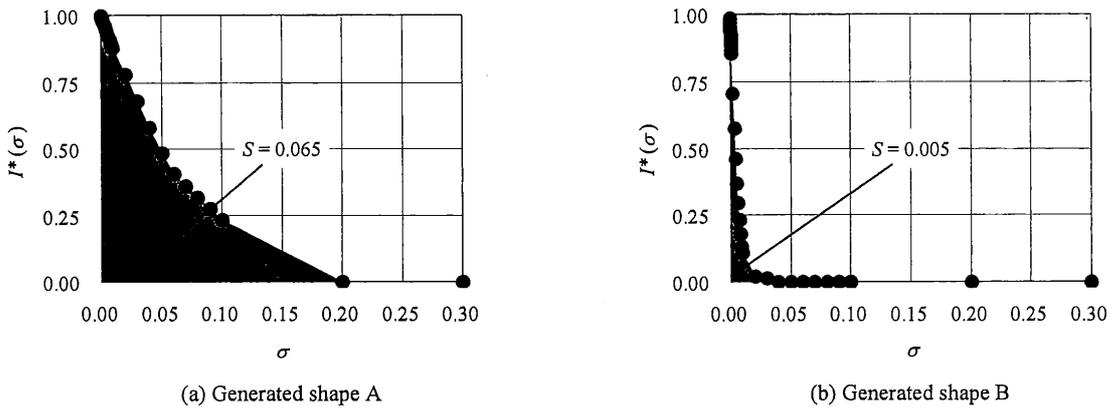


Fig.6 Comparison of S on generated shape A, and S on generated shape B

うねりの大きさが認知困難であったため、「複雑さ」と曲率積分が対応しなかった。この結果より、「複雑さ」の定量化において、解像度という「場」を考慮することの必要性が確認された。

生成形状 A と B に関して、図 6 に示すように指標 S を算出したところ、 S の大小が解像度の変化に対する曲率積分の頑健性を反映する可能性が示された。そこで、 S の値が小さい生成形状から順に除去していったときの、 I の自然対数と「複雑さ」の相関係数 R を算出し、 S と R の関係解析を行った。その結果、図 7 に示すように、 S の値が小さい生成形状を除去するにしたがい、相関係数 R が高くなることを確認された。これより、属性空間内の要素に相当する曲率積分と、状態空間内の要素に相当する S を併用することで、解像度という「場」を考慮したうえでの「複雑さ」の操作を可能とする曲線形状生成方法構築の可能性を示すことができた。

5. 結 言

本報では、階層型デザインモデルに基づく観点から形のマクロ情報研究における指針を示し、曲線形状の「複雑さ」を事例としたマクロ情報の定量化法とその曲線形状生成へ

の応用について述べ、曲線デザインにおける新しい支援方法の可能性を示した。

本研究は、文部科学省平成 17 年度 21 世紀 COE プログラム【知能化から生命化へのシステムデザイン】によるものであることを記し、謝意を示す。

文 献

- (1) Polanyi, M., The Tacit Dimension, Routledge & Kegan Paul Ltd., (1966).
- (2) 松岡由幸, 日本機械学会誌, 108-1034, (2005), 14-17.
- (3) Ujiie, Y. et al, Computer-Based Design, (2002), 607-616.
- (4) Ujiie, Y. et al, Proceedings of 2002 ASME International Design Engineering Technical Conferences and the Computers and Information in Engineering Conference, (2002), Published by CD-ROM.
- (5) Ujiie, Y. et al, Proceedings of 6th Asian Design Conference-International Symposium on Design Science, (2003), Published by CD-ROM.
- (6) Ujiie, Y. et al, Proceedings of Design Research Society International Conference 2004, FUTUREGROUND, (2004), Published by CD-ROM.

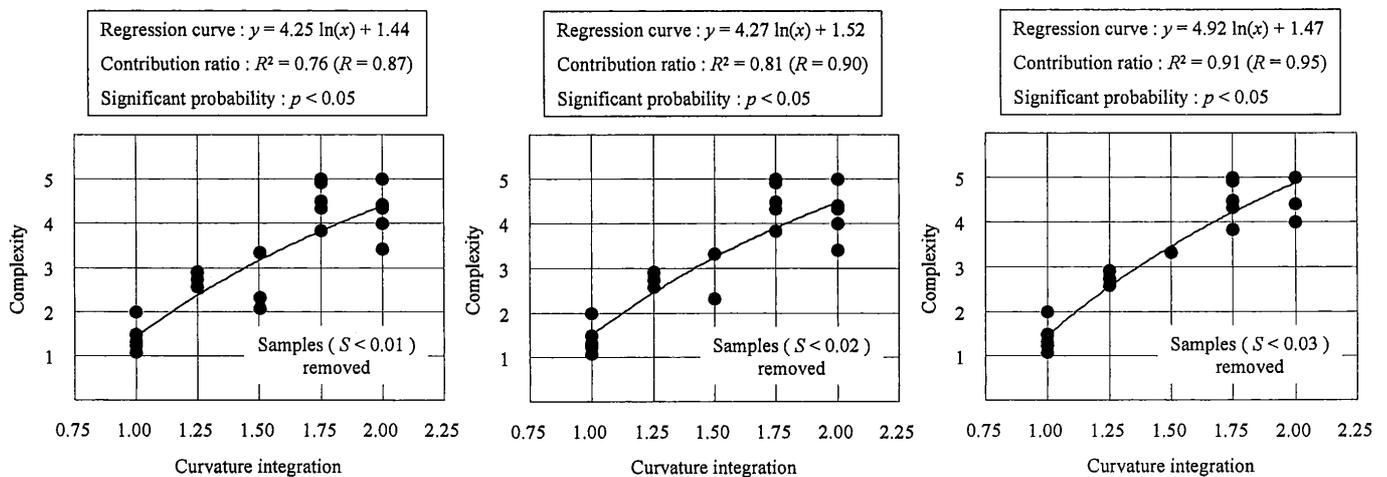


Fig.7 Relationship between curvature integration and complexity