美的認知論に基づく船舶意匠設計のための 形状創成の試み

正員 篠田 岳 思* 正員 福 地 信 義*
吉 田 誠 也** 正員 鷹 尾 潤***

A Creative Attempt for Ship Configuration Design based on the Aesthetic Cognitive Theory

by Takeshi Shinoda, *Member* Nobuyoshi Fukuchi, *Member*
Seiya Yoshida Jun Takao, *Member*

Summary

The shape of industrial product has to be determined within the constrained conditions of keeping firmly many kinds of functional and performance requirements. On the other hand, the configuration of artificial work would be created desirably using sense of aesthetic, even if conflicting slightly with these requirements. The development of methodology for an aesthetic design founded on human sensitivity is becoming highly desirable in recent year. However, the results of artistic design may be vague as just one of ill-defined problems in which its solution can be decided to depend upon the designer's recognition against his objects.

In this paper, a method of measuring beauty quantity for artistic evaluation is proposed using aesthetic cognitive theory that formative beauty is created by associating with visual characteristics. The composed elements of external form may be transformed into various genetic codes and the optimum configuration could be found by the search using genetic algorithm. Furthermore, an expression of optimum ship appearance can be gained as drawings of profile and three dimensional computer graphics by decoding the obtained solution. From the results of this attempt, the proposed method is clarified to be useful for ship configuration design.

1. は じ め に

物づくりという創造の場では、人工物のもつ機能や性能が当初に計画したものを満足することが必要条件であるが、これに加え、最近では人工物の評価に意匠等の感性の占める比重は高まってきている。

この様な背景の中で、船舶の分野においては、特に人々に非日常的感觉を提供する空間としてデザインされるクルーズ客船では、客船のコンセプトや意匠デザインが極めて重要である。魅力ある船を造るための意匠デザインをどの

ように創成するかは、今後の大切な課題である。

ところが、意匠設計などの感性に関わる設計は、設計者の認知の程度に応じて問題の意味合いが異なる悪定義問題や問題の解決の手順がアルゴリズム化しにくい悪構造問題であり、設計手法の一般化が難しい。

本研究では、認知心理学的手法のうち、人間の視覚特性から造形美を抽出しようと試みる美的認知論的手法を用いて、形状が有する美の量により評価することを提案する。さらに、外形形状を構成する各要素を遺伝子と見なしてコード化し、美の量を目的関数とした遺伝的アルゴリズムにより外形形状の最適解の探索を試みる。さらに創成された解をデコードして外形形状をプロファイル図やコンピュータ・グラフィックスにより表現し、意匠デザイン候補案として検討の参考にすることができることを確認する。

2. 意匠デザイン創成の概念

意匠デザイン創成の過程を、ここでは Fig. 1 に示すよう

* 九州大学工学部

** 千代田化工建設(株)(研究当時九州大学大学院工学研究科)

*** 海上自衛隊(研究当時九州大学大学院工学研究科)

Fig. 1 A conceptual flow chart of aesthetic shape design

に2つの大きな過程に大別する。

一つは船舶の外形を決める形状、大きさ、色彩など形態に関する情報や、船を見て人々の感じる心象や感性に関する情報などのイメージ情報など、意匠デザインに関する情報を、多変量解析法などの統計分析の手法を通して分析・評価する。これにより、デザインに関する要因を抽出して、要因を分類し、要因の持つ意味や構造を把握して、デザイン創成に関する評価基準や評価関数あるいは制約条件を導き、意匠デザイン創成に至るという過程である¹⁾²⁾。

他方、形態を知覚しどのように認知するかを認知心理学の手法を用いて分析して、対象物の造形美を抽出しようと試みる美的認知論の手法がある。これは、人間の視覚認知に関する特性に基づき、視覚の体制化要因の構成を決定して、形状が有する美の量を数量化して評価しようとするものである。

ここでは、後者の過程について主に述べる。また、船舶意匠デザインのうち船舶の外形の形状デザインに主眼を置き、美の量を定義してこれを最大化する外形形状の創成を試みる。

3. 美的認知論に基づく形状の評価

心理学の一分野である認知心理学は、従来の行動主義心理学では行動を刺激-反応機制的複合としてとらえようとしていたのに対して、その間にある心の働きをモデルにより説明しようとするものであり、コンピュータの発達に伴い進展してきている。

中でも、美的認知論は視覚認知心理学の応用分野であり、

人間の視覚認知に関する特性を基に、人間がどのように形状の部分を統合して全体として構造化した形状として見えるかという、視覚の体制化の要因を決定して、ここから美の量を導出しようとするのが研究の主眼である。

例えば Fig. 2 に示すように、人間の視覚認知を視覚モジュール、認知系、価値判断・感情系とに分けてモデル化して、視覚は網膜に投影された2次元原画から外界の3次元構造を復元する過程であるとして、計算理論により視覚認知をモデル化する試みもある³⁾。ここでは、このモデル化のためにも再認識されているゲシュタルト心理学における視覚認知の体制化について概略説明する。なお、形状生成の背景には視覚認知の体制化の認識が必要である。

3.1 視覚認知の体制化

ゲシュタルト心理学における視覚認知の体制化には次のようなものが上げられる。

(a) 図地分化⁴⁾⁵⁾

図地分化は、人間のパターン知覚の前提処理とされている概念である。これは人間が対象物の形状を視覚的に認知するには、背景からその形状を分離する必要がある、このとき視覚的に浮かび上がる物を図といい、背景の部分地という。より明るい領域、面積の小さい領域、閉じた領域、規則的な形は図になり易いとされている。

例えば、Fig. 3(a)では黒色の正方形が、壁の開口として図として見えていたものが、黒色の正方形の大きさを変えていくと、Fig. 3(b)では図と地は曖昧になり、Fig. 3(c)では白地の線が窓枠のフレームのように見え図として見出し

Fig. 2 A model for the visual system of human

Fig. 3 Figure-ground segregation

れるようになる⁵⁾。また、この図と地を巧みに反転し利用した例としてエッシャーの作品がある⁶⁾。

(b) 知覚的群化⁴⁾⁵⁾

人間が対象物を認知する過程において、対象物(図)はバラバラに見えるのではなく相互にまとまって見える傾向にある。これを知覚的群化の法則と呼び、視覚刺激要素が次に述べる体制化の要因に従いまとまりを持つと考えられている。

1) 近接の要因

近接の要因とは、空間的に近い物同士がまとまって見える傾向にあることである。これは例えば、Fig. 4(a)では、黒い正方形が近いもの同士が集まり、縦に並んでいるように見えることである。

2) 類似の要因

類似の要因とは、色、形、大きさなどの性質の類似したものまとまって見えることである。これは例えば、Fig. 4(b)では、同じ形の黒い正方形に視線が行き、斜めに並んでいるように見えることである。

3) よい形の要因

この他によい形の要因と呼ばれるものがある。これは、Fig. 4(c)に示すように、なめらかに繋がった物がまとまって見えやすいという連続性の要因、また Fig. 4(d)に示すように、非対称な図形に比べて対称な図形は知覚されやすいという対称性の要因、閉じた物がまとまって見える閉合性の要因、一緒に動いたりともに変化する物がまとまりやすく知覚されると言う共通運命の要因、さらに過去の経験で見慣れた物がまとまって見える経験の要因がある、ただし、

Fig. 4 Laws of the visual grouping

このうち経験の要因は他の要因が拮抗する場合には、弱く働くと言われている。

(c) 主観的輪郭⁴⁾⁵⁾

明度差の違いにより形成される輪郭により、形のないところに形が見えることがある。これは意味のある図形に欠損部がある場合に、欠損している視覚情報を補って完結化させようとする視覚系の働きによるものである。例えば Fig. 5 で白い三角形が知覚されるのはこのためである。また、この性質は錯視現象、図地分化、群化の法則とも関連があるともいわれている。なお、完結した図形には生じない。

Fig. 5 Subjectivity contours

以上に述べた視覚の体制化要因は、その時の認知の条件の範囲内で、より簡潔なよい形にまとまるというプレグナンツの法則の拡張としても概括的に説明でき、美的認知論ではこれらの要因の組み合わせが形態の美しさに関連があると考えられている。

3.2 美的認知論に基づく美の量⁷⁾

美的認知論の中で特に実験美学の分野では、人間の視覚認知に関する体制化の要因に基づき、人間の形状の認知過程で美の感覚量を実験により同定することが試みられている。

これは、自由パラメータと呼ばれる形状を幾何学的に特徴づける線の長さや線同志のなす角度など、客観的に計測できるパラメータの総量を P とし、この自由パラメータ間に存在する付加的規則と呼ばれる拘束条件の総数を R とすると、パラメーターに付加的規則が多いほど、視覚的に体制化されて、美の感覚が誘起され易くなるとして、次式により美の量を定義している。

$$M = (1 + R) / P \quad (1)$$

この式によると、形状の位相が同型ならば、形状を拘束するパラメータの数のうち、付加的規則が多いほど美の量は高いことを示しており、Boselie と Leeuwenberg らの心理実験により、実際の美の評定とに強い相関を見出している。

なお、(1)式では説明できない例として、絵画などにみられる作品の題材に有する作者の感情、鑑賞者の芸術的経験度、作品への偏見などが上げられている。

3.3 美的調和法則

美の量を算定する際に、形状に有する付加的規則に何を用いるのか、あるいは何を用いるべきかという議論はあるが、ここでは、単純な幾何学形状の美的属性において、調和法則⁸⁾として説明づけられている Golden section, Fibonacci series, Dynamic symmetry の3つの調和法則を用いる。

(a) Golden section

Golden section とは紀元前から用いられた調和比であり、黄金分割という名で知られている。これは、Fig. 6(a)に示すように線分を部分に分割するときどのような比が理想的なのかを次式により求めるものである。

$$(1-x) : x = x : 1 \quad (2)$$

この式から、 x は次の値となる。

$$x = (-1 + \sqrt{5}) / 2 = 0.618 \quad (3)$$

この値は黄金比といわれ、矩形では Fig. 6(a) のハッチ部に示されたものが美しい比を持った物とされている。黄金比を有する矩形と正方形を組み合わせると、組み合わせられた矩形は黄金比を有するという空間上の加算性があるため、このことが西欧での歴史的建造物に多用された理由とされている。

(b) Fibonacci series

イタリアの A. Giraldi の提唱した説であり、次の漸化式で表される数列を言う。

$$F_n + F_{n+1} = F_{n+2} \quad (4)$$

ここで $F_1 = F_2 = 1$ とすると、次の数列が得られる。

$$1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, \dots \quad (5)$$

さらに、Fig. 6(b) に示すように、数列の隣合う2数の比 F_{n+1}/F_n を取ると次の数列が得られる。

$$\frac{1}{1}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{3}{5}, \frac{5}{8}, \dots, \frac{377}{610}, \dots \quad (6)$$

また、この数列を少数で表すと次のようになり、漸近的に黄金比に近づく。

$$1, 0.5, 0.666, 0.6, 0.625, \dots, 0.618 \dots \quad (7)$$

Fig. 6 Laws of the proportion of beauty in harmony

自然界の造形物のように非人工物に中にも、例えば、生物や枝葉のような連続した幾何学形状、天体間の距離や音階などに、その比が見られると言われている。

(c) Dynamic symmetry

次式に示す自然数の平方根からなる級数による比を Dynamic symmetry という。

$$\sqrt{1}, \sqrt{2}, \sqrt{3}, \sqrt{4}, \sqrt{5}, \dots \quad (8)$$

Fig. 6(c) に示すように矩形で考えると、正方形の一辺とその対角線からできる矩形が $\sqrt{2}$ 矩形であり、以下同様にして自然数のルート矩形が得られる。このように簡単な幾何学操作から、この調和比を持つ矩形を作ることができるため、歴史的建造物や美術工芸品などに現れる比をよく説明できるとも言われている。

J. Hambidge の説によると、欧米各国に現存するギリシアデザインの 85 % までが $\sqrt{5}$, 10 % が $\sqrt{2}$, 1~2 % が $\sqrt{3}$ と言われている。

4. 形状創成の試み

4.1 形状生成の過程

船舶の形状生成の過程を Fig. 7 に示す。ここでは、初めに形状の構成要素を定義してコード化する。次に形状要素の生成や、形状要素の構成のための手順ならびに拘束条件などの生成ルールを定めて生成に移る。生成された形状は、美的認知論での美の量などの評価関数により評価する。ここで、例えば、遺伝的アルゴリズムなどの最適化手法により美の量を最大化することもできる。このような各過程を経て候補案を作成する。以下に、各過程について詳細を述べる。

(a) 形状構成要素

船舶の形状の構成要素を、ここでは Fig. 8 に示すように、客船を対象とした場合の構成要素からなる階層構造により表す。この階層図では、階層の上位レベルの構成要素はハウス部やファンネル部のように外形形状デザインの支配的要素を表し、階層の下位レベルに従い窓の形状や手す

りなどのように形状の構成要素のうち比較的細部の要素を表している。

ここでは、全体の外形形状デザインを概括的に見るために細部の要素については無視して、階層の上位レベルを形状創成のための構成要素として用いる。さらにこれらの要素を形状として幾何学的に構成するために、48 個の変数を用いて、Fig. 9 に示すように各要素を遺伝子と見なし、総計 164 ビットの染色体の列としてコード化して表す。これは美の量を最大化するような形状の組合せを、付録に示す遺伝的アルゴリズムを用いて求めることを前提としている。なお、図には構成要素と変数の一部を表にして示す。構成要素のうち、例えばハウス部では、幾何学的に形状を構成するための変数として、長さ、高さ、全面傾斜角などを用いる。

(b) 生成手順

船舶の形状デザイン生成は、ここでは次の手順に従う。

1) 形状創成の構成要素の各部を Fig. 10 に示すように初めに、デッキ面に並行に分割する。これをさらにデッキ前部、中部、後部とに分割し 2 次的に閉じた形状をユニットとして作る。これをここでは、単形状と呼ぶ。

Fig. 8 Definition of the components of a ship shape

Fig. 7 A concept of the flow chart of a shape creation

Fig. 9 Coding model for a ship shape creation

Fig. 10 A proceeding rule for a ship shape creation

2) 単形状を統合して側面, 上面, 下面といった面要素を付加して3次的に閉じた形状を作る。これをここでは混合形状と呼ぶ。混合形状として, Deck部, Hull部, Funnel部が作られる。

3) 混合形状を組み合わせることにより, 船の外形状を生成する。なお, Hull部が船尾より著しく突出するなどの形状として不適当な要素を排除するために, 各要素に対する拘束条件もここで定める。

(c) 美の量と付加的規則性

生成された形状に内在する統一 (Unity), 調和 (Harmony), バランス (Balance), リズム (Rhythm) などの美の量を美的認知論に基づき評価する。ここでは付加的規則性として Golden section, Fibonacci series, Dynamic symmetry の3つの調和比を用いて, 調和比が単形状, 混合形状, 外形状の生成の各過程で各部位にどの程度現れているかを測る。

なお、ここでは調和比に Fig. 11 に示すようなメンバーシップ関数を取り、幅を考慮する。これは、フェヒナーの実験によると、もっとも好ましい矩形の縦横比は黄金比 $1:1.618$ を有するものであるという結果を得ているが、一方では $1:1.4$ 程度が良いという説や、好む文化により好む比例も異なるという説もあり⁸⁾、また人間の矩形を認知する弁別閾を考慮すると、比に幅があると考えるのが妥当であるためである。

各部位に表れる3つの調和比の存在度をこのメンバーシップ関数により数量化し、その総和を付加的規則性の総数とする。

Fig. 11 Membership functions of the proportion of beauty in harmony

(d) 生成と評価

船舶の外形形状は各要素をコード化して遺伝子とみなし染色体の列として表されているため、遺伝子のビットを反転したりランダムに操作を加えたり、組み替えたりすることにより形状を変化させることができる。

また、形状についての評価値を参考に、例えば遺伝的アルゴリズムなどの最適手法を用いて、美の量を最大化することもできる。

以上の過程を経て、形状要素をルールに従って再構成すれば、外形デザインが生成される。これらを、模型、イメージ・スケッチ、コンピュータ・グラフィック (CG) などにより具体的形状として表現してデザイン候補案を作成する。

4.2 形状生成例

船舶の外形形状を表現した遺伝子コードに、ビットを反転したりランダムに操作を加えてデコードすると、外形形状は別の形状に変化する。

この変化の様子を Fig. 12 に、外形形状のプロファイル図として示す。プロファイル図は、構成要素を幾何学的に表す48個の変数のうち29個を用いて表しているが、この程度要素数でも、比較的多様な形状が表れることがわかる。なお、図中の評価値は、被験者に船舶を見せて「洗練された」など美を評価する形容詞をアンケート¹⁾²⁾により求めて、船舶の外形形状との相関を多変量解析を用いて得られた重みから、ファジィ積分を適用して美しさの程度を示したものである。

次に、この中から好みの形状を初期値として選択して、これを基に、付録に示す遺伝的アルゴリズムにより美の量を目的関数として、これを最大化するような遺伝子コードを求める。Fig. 13 に形状の美の量の推移を示す。世代を経

Fig. 12 A change in ship shape under the random creation

Fig. 13 A variation of evaluation value under the generation by the analysis of the genetic algorithm

るに従い美の量が小さいものは淘汰され、美の量は全体として増加し 30 世代ほどで収束している。なお、アンケートを統計処理してファジィ積分により得られた美しさの程度を示した評価値は、各世代毎に値が異なり、認知論から得られる美の量との相関は、今回の分析では明らかでない。

また、Fig. 14 は世代を経て、淘汰の過程で表れる変化の様子を 3 次元の外形状としてコンピュータ・グラフィックとして表した図である。世代を経るに従い、形状が収束していく様子が分かる。なお、図中の数値は美の量を示し

ている。

また、Fig. 15 は 30 世代を経た後の船の外形状を示している。図中、各種の数値は美の量やアンケートを統計分析した形状の美などの印象に関する諸量である。

なお、船舶の外形状の 3 次元表示では、Hull 部と House 部の前後部などの曲面部分は、制御点が少数のパラメータで求められる NURBS (Non-uniform rational B-spline) を用いて曲面構成している。また、陰面の消去にはデプス・バッファ法を用いて処理し、グラフィック表現のためのライブラリには OpenGL⁹⁾ を用いた。このように CG を用いることにより、外形状のデザイン候補案は、より実物に近く表現することができ、意匠デザインの検討の参考にすることができる。

5. 結 言

船舶の意匠デザインのうち、船舶の外形状デザインの創成を試みた。ここでは、人間の視覚特性から得られる形状が有する美の量を最大化するように、コード化された外形状を遺伝的アルゴリズムを用いて最適解を探索し、得られた解をデコードしてプロファイル図やコンピュータ・グラフィックスにより船舶の外形状デザイン表現を試みた。

意匠設計など感性に関わる設計は、設計者の認知の程度に応じて問題の意味合いが異なる悪定義問題であり、また問題の解決の手順がアルゴリズム化しにくいことや認知のモデル化が難しいなど悪構造問題であり、一般化が難しい問題であるため、本手法では必ずしも全ての人を満足させるものとは言えないが、意匠設計のための一手法を示した。

Fig. 14 A change in ship shape under the generation by the analysis of the genetic algorithm

Fig. 15 Ship shape designing model by computer graphics

今後は、心理実験の手法を用いたより精密な美的認知のモデル化や、色彩やディテールを加えた形態と人々の印象の関連性をさらに詳しく分析するなど、形状評価モデルを構築する必要がある。また、形状表現をより詳細にして、より現実感のあるグラフィック表現することや、形状表現のコード化を今回のものとは別に定義して、より多様な意匠デザインの創成を考える必要もある。

参 考 文 献

- 1) 篠田, 福地, 鷹尾: 形状創成のための表現形容詞と指向形態に関する研究, 西部造船会々報, 第 91 号, (1996)
- 2) 篠田, 福地, 鷹尾: 船舶の意匠設計のための形態デザイン分析に関する研究, 西部造船会々報, 第 89 号, (1995)
- 3) 乾敏朗編: 認知心理学 1 運動と知覚, 東京大学出版, (1996)
- 4) 北島, 中島他: グラフィック心理学, サイエンス社, (1997)
- 5) ウィリアム・ミッチェル: 建築の形態言語, 鹿島出版会, (1991)
- 6) D. R. ホフスタッター: ゲーデル・エッシャー・バugh あるいは不思議の環, 白揚社, 1985
- 7) 村山久美子: 視覚芸術の心理学, 誠信書房, (1995)
- 8) 高橋鷹志編: かたちのデータファイル, 彰国社, (1990)
- 9) J. Neider, etc.: OpenGL Programming Guide, Addison-Wesley, (1995)
- 10) 高橋鷹志編: かたちのデータファイル, 彰国社,

(1990)

- 11) 例えば, 伊庭斉志: 遺伝的アルゴリズムの基礎, オーム社, (1994)

付録 遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm) とは、離散数の組合せを最適化する手法である。これは離散数を染色体 (Chromosome) と呼ばれる記号列 (Code) に表し, Fig. 16(a) のアルゴリズムの流れのように, 淘汰, 交差, 突然変異の 3 つの操作を繰り返し行い最適値を探索するものである。

淘汰は探索領域内での記号列である染色体に対応して評価値 (適応度) を求め評価値に応じて次の世代に残せる染色体の数を決める操作である。ここでは, 適応度に応じた確率で選択されるルーレット方式¹⁰⁾を用いた。

また, 交差は, Fig. 16(b) に示すようにランダムに選ばれた 2 つの染色体の間でその一部が交換され新しい子染色体を生み出す操作である。ここでは, 2 点で交差する二点交差法を用いた。

さらに, 突然変異は, Fig. 16(c) に示すようにランダムに選択された染色体の記号の一部を変化させることにより, 交差では発生し得ないような染色体を発生させる操作であり, 最適値を求める過程で局解に陥ることを防ごうとするものである。

各操作には様々な手法が提案されている。

Fig. 16 Models of genetic algorithm