

乗用車の側面形状の地域・年代による違いに関する定量的検討

小森 政嗣^{†1}

乗用車の側面輪郭形状と地域性、および発売年代の関係を楕円フーリエ解析により検討した。1900年代から2000年代の間に発売された4798車種の乗用車の側面画像から、輪郭形状を取得した。この輪郭形状に対し楕円フーリエ解析を行い、さらにこの係数に対して主成分分析(PCA)を行うことで、輪郭形状を多変量データに変換した。地域及び発売年の影響を検討するため、この多変量データに対して多変量分散分析(MANOVA)を行った結果、近年は側面形状の地域差が小さくなっていることが示唆された。

Quantitative Analysis of Lateral Profiles of Automobiles Based on Elliptic Fourier Descriptor: Effects of Locality and Release Year

MASASHI KOMORI^{†1}

Effect of locality (Asia, Europe, and North America) and release year on the lateral profiles of automobiles was investigated using elliptic Fourier descriptors and multivariate analyses. Profile shapes of automobiles were obtained from side view images of 4798 automobiles released from 1900s to 2000s. Through an elliptic Fourier analysis, the profiles were converted into multidimensional variables called elliptic Fourier descriptors. Principal components analysis (PCA) was performed on the descriptors and a multivariate analysis of variance (MANOVA) was performed on the principal component scores to examine the effect of locality and release year. The results indicated that the regional differences of the automobile shapes have got smaller in recent years.

^{†1} 大阪電気通信大学

Osaka Electro-Communication University

1. はじめに

乗用車の車体のデザインは、その乗用車の印象を大きく左右する構成要素であり、乗用車の購買行動に影響する重要な付加価値であるといえる。車体のデザインは、駆動方式の変化や、設計技術や加工技術の進歩はもちろんのこと、流行の変化やデザインの好みの地域差といった人々の感性の違いにも大きく影響を受けてきた。しかし、乗用車のデザインは他の構成要素とは異なり定量的に評価することが困難であるため、従来その差異や変遷については定性的にしか論じられてこなかったといえる。

本研究では乗用車の側面輪郭形状を取り上げ、その形状を決定する要因や形状の変遷を定量的に検討することを目的としている。輪郭形状を定量的に解析するために楕円フーリエ解析(Elliptic Fourier Analysis)¹⁾を用いる。楕円フーリエ解析では、輪郭上を一定の速度で周回する点を考え、その点の座標を周期関数と捉える。さらにこの周期関数に対してフーリエ級数展開を行い、得られた係数によって輪郭の形状を表現することができる。これまでに、楕円フーリエ記述子は生物の形態解析^{2)~4)}から、工業製品や出土した土器^{5),6)}などの分析まで幅広く用いられてきた。

楕円フーリエ解析によって個々の車体の側面輪郭形状は多変量データとして表現されるため、これに対し多変量解析手法を適用することで、各乗用車の発売年代や乗用車メーカーの地域性、車両のタイプ(たとえばワゴンやSUV)の違いと輪郭形状の関係を定量的に検討する。

2. 方 法

2.1 材 料

本研究では、“The-Blueprints.com”⁷⁾にある2面から4面図の乗用車画像から取得した乗用車の側面形状を解析対象とする。このデータベースには2009年8月時点で11378台のデータが存在し、その中からオープンカーや競技用車両、重複するマイナーチェンジのバージョンを除外した、全126メーカーが販売した全4798車種を解析対象とした。これらは、1900年代から2000年代までに発売された車種である(1900年代: 1車種; 10年代: 3車種; 20年代: 26車種; 30年代: 140車種; 40年代: 59車種; 50年代: 330車種; 60年代: 576車種; 70年代: 812車種; 80年代: 517車種; 90年代: 579車種; 2000年代: 1756車種; ただしベースグレードモデルの発売年に基づく)。また全てのサンプルはメーカーの本社の所在地に基づいて欧州、北米、アジアの3地域に分類した(欧州: 2357車種; 北米: 1150車種;

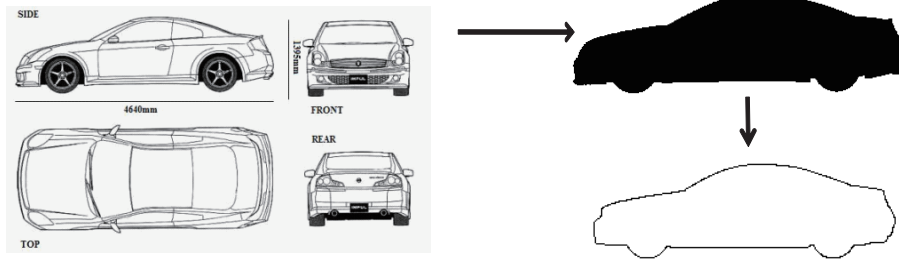


図 1 輪郭抽出の流れ
Fig. 1 Procedure of Contour Extraction

アジア: 1292 車種)。

さらに、大まかに乗用車のタイプを分類した。はじめに乗用車のタイプを大きく 1BOX, 2BOX, 3BOX, トラックの 4 タイプに分類し、1BOX とトラックはそのままタイプとして分類した。次に 2BOX はさらに SUV, コンパクト, ワゴンに分類した。ここで SUV は大径タイヤを履き、最低地上高が比較的高いシルエットをもつ車種とし、コンパクトとワゴンの判別についてはルーフェンド (屋根の最後端) が車体の全体の最後端付近まで到達していなければコンパクト, 到達していればワゴンとした。ただし車種によってはコンパクトとワゴンのどちらかに明確に分類できない車種も存在するため、このような場合は過去に発売された同車種を参照したり, Web 上の文献などを参考にし, 一般的に解釈されているタイプを採用した。3BOX はさらにクーペとセダンに分類した (2 ドアならクーペ, 4 ドアならセダンとした)。以上のようにすべてのサンプルを 7 種類のタイプに分類した (1BOX: 263 車種; SUV: 577 車種; クーペ: 1525 車種; コンパクト: 615 車種; セダン: 1284 車種; トラック: 58 車種; ワゴン: 477 車種)。

2.2 楕円フーリエ解析

標本の左側面画像に 2 値化処理を行ったうえで、側面輪郭形状を抽出した。輪郭形状にはタイヤも含めた (図 1)。得られた輪郭形状に対して楕円フーリエ解析を行う。

輪郭上のある点 S から出発し、輪郭上を一定の速度で周回する点 P を考える。ここで、点 P の時刻 t における x, y 座標をそれぞれ $x(t), y(t)$ と表すと、点 P は輪郭上を 1 周するごとに出発点 S に戻ってくるため、 $x(t), y(t)$ は周回時間 T を周期とする周期関数となる。周期をもつ関数はフーリエ級数により記述できるので $x(t), y(t)$ は以下になる。

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^N (a_n \cos \frac{2n\pi t}{T} + b_n \sin \frac{2n\pi t}{T}) \quad (1)$$

$$y(t) = c_0 + \sum_{n=1}^N (c_n \cos \frac{2n\pi t}{T} + d_n \sin \frac{2n\pi t}{T}) \quad (2)$$

この a_n, b_n, c_n, d_n が楕円フーリエ記述子の係数になる。ただし、これらは対象物の大きさや向きが異なるため、第 1 調和楕円の半長軸の向きと大きさが等しくなるよう以下の式で標準化を行った。

$$\begin{bmatrix} a_n^{**} & b_n^{**} \\ c_n^{**} & d_n^{**} \end{bmatrix} = \frac{1}{E^*} \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi \\ -\sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_n & b_n \\ c_n & d_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos n\theta & -\sin n\theta \\ \sin n\theta & \cos n\theta \end{bmatrix} \quad (3)$$

ここで

$$E^* = (a_1^{*2} + c_1^{*2})^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} a_1^* \\ c_1^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_n & b_n \\ c_n & d_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\psi = \arctan \left[\frac{c_1^*}{a_1^*} \right] \quad (0 \leq \psi < 2\pi) \quad (6)$$

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \left[\frac{2(a_1 b_1 + c_1 d_1)}{(a_1^2 + c_1^2 - b_1^2 - d_1^2)} \right] \quad (0 \leq \theta < \pi) \quad (7)$$

である。

標準化された係数を $a_n^{**}, b_n^{**}, c_n^{**}, d_n^{**}$ とし、本研究ではこの係数を用いる。なお、式中の E^* は第 1 調和楕円に基づく大きさの標準化係数、 θ は第 1 調和楕円に基づく向きの標準化係数、 ψ は計測開始点の位置を揃える標準化係数である。本研究では第 25 調和までの係数により輪郭形状の近似を行った。

3. 結 果

3.1 主成分分析

楕円フーリエ解析により、所与の車種の側面輪郭形状は 100 次元の変数 (a_n^{**} , b_n^{**} , c_n^{**} , d_n^{**} の 4 係数 $\times$ 25 調和) で表現される。しかし、このままでは次元が多く解釈が困難である。楕円フーリエ解析では、係数に対し主成分分析を行うことで、形状の差異の主要な成分を抽出し、形状を少数の主成分得点で表現することがしばしば行われる²⁾。本研究でも、分散共分散行列に基づく主成分分析 (PCA) を行い、比較的寄与率の高かった第 7 主成分までを解析対象とした (寄与率: PC1, 24.2%; PC2, 15.5%; PC3, 7.4%; PC4, 6.3%; PC5, 6.2%; PC6, 5.9%; PC7, 3.1%; PC8, 3.0%; 累積寄与率, 71.7%)。

各主成分軸方向に沿った $\pm 2S.D.$ の輪郭形状の変化を再構成した (図 2)。第 1 主成分にはホイールベース (前輪後輪間の距離) の長短と全長の比が表れていると解釈できる。第 2 主成分にはフロントリアバンパー付近の高さと全長の比の違いと関連している。第 3 主成分にはフロントオーバーハング (前輪から乗用車の先端までの距離) の長短が反映されている。第 4 主成分にはキャビンの車高の高低が表れていると解釈できる。第 5 主成分にはアプローチアングル (フロントバンパー前端から前輪接地点の角度) とディパーチャーアングル (リアバンパー後端から後輪接地点の角度) の大小が表れていると解釈できる。第 6 主成分、および第 7 主成分、第 8 主成分には居室の位置や形状が反映されていると解釈できる。

3.2 輪郭形状と地域・年代の関係

メーカーの地域や年代が乗用車の側面デザインにどのような影響を及ぼしているかを検討するため、乗用車のタイプ (1BOX, SUV, クーペ, コンパクト, セダン,トラック, ワゴン), 発売年代 (1900 年代–2000 年代), メーカー地域 (欧州, 北米, アジア) およびこれらの交互作用を分析モデルに設定し、多変量分散分析 (MANOVA) を行った。

その結果、タイプと年代の主効果、およびタイプ $\times$ 年代の交互作用、タイプ $\times$ 年代 $\times$ メーカー地域の交互作用が有意であった (タイプ: $Wilks's\lambda = .985, F(48, 22884.012) = 1.465, p = .020$; 年代: $Wilks's\lambda = .977, F(80, 29500.867) = 1.351, p = .020$; タイプ $\times$ 年代: $Wilks's\lambda = .904, F(352, 36663.282) = 1.343, p < .001$; タイプ $\times$ 年代 $\times$ メーカー地域: $Wilks's\lambda = .907, F(408, 36803.187) = 1.123, p = .044$)。

メーカー地域の主効果、タイプ $\times$ メーカー地域の交互作用、年代 $\times$ メーカー地域の交互作用については有意でなかった (メーカー地域: $Wilks's\lambda = .996, F(16, 9300) = 1.136, p = .314$; タイプ $\times$ メーカー地域: $Wilks's\lambda = .977, F(96, 31334.597) = 1.152, p = .147$; 年代 $\times$

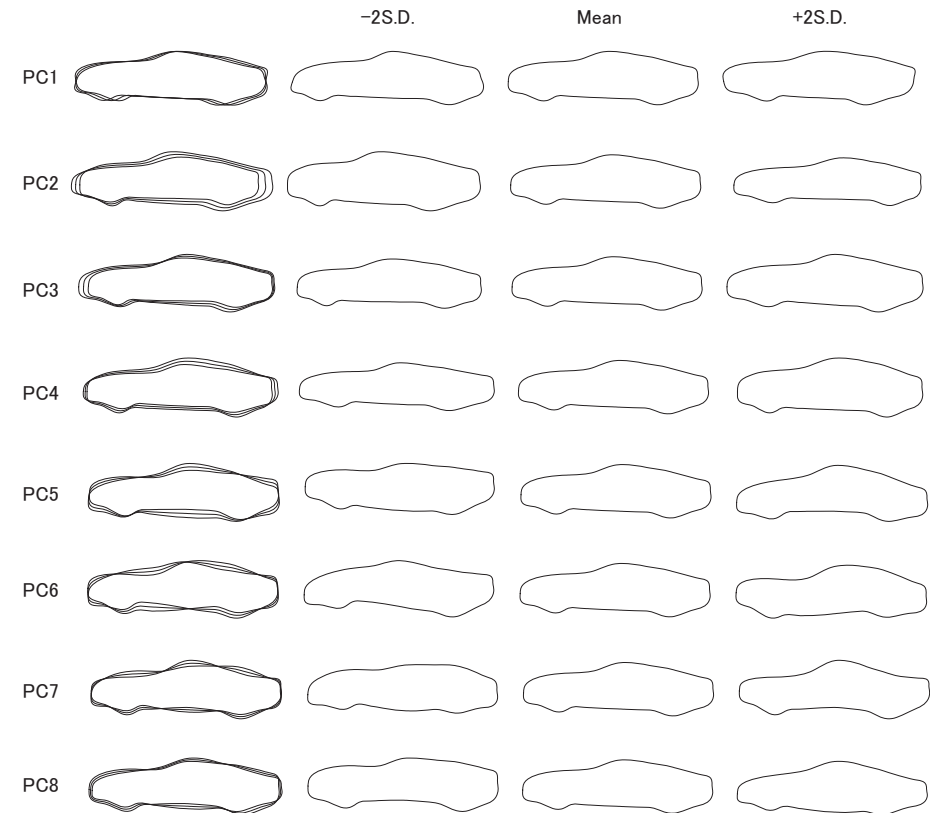


図 2 各主成分軸に沿った形状の違い (平均形状および $\pm 2S.D.$)

Fig. 2 Profile Shape Variation along Each Principal Component. The Contours Were Made by Inverse Transformations. Theoretical Values of $-2SD$ / Average / $+2SD$.



図3 第5・第7主成分得点と発売年代の関係

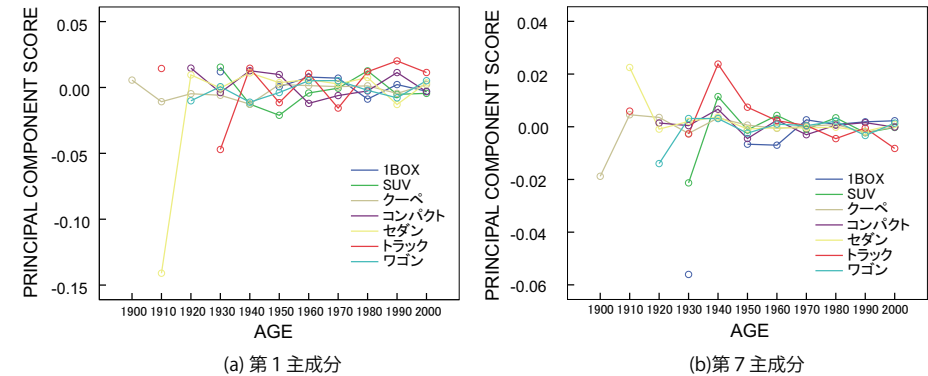
Fig. 3 Effect of Release Date on the Fifth and Seventh Principal Component Scores

メーカー地域: $Wilks's\lambda = .973, F(112, 32620.180) = 1.153, p = .128$. このことから乗用車の形状はさまざまなタイプごとに年代に伴って変化しており、さらにその変化の仕方はメーカーの地域によって異なることがわかる。また、メーカー地域の主効果やタイプ × メーカー地域の交互作用が認められなかったことから、メーカーの地域によって側面形状に一貫した傾向があるとは言えない。

MANOVA で有意であった上記の主効果や交互作用について、さらに各主成分得点に対し個別に分散分析 (ANOVA) を行うことで詳細に検討する。タイプの主効果は第 1, 7 主成分に対して認められた (第 1 主成分: $F(6, 4657) = 2.636, p = .012$; 第 7 主成分: $F(6, 4657) = 2.417, p < .001$)。また、年代の主効果は第 5, 7 主成分 (第 5 主成分: $F(10, 4657) = 1.704, p = .014$; 第 7 主成分: $F(10, 4657) = 1.704, p = .014$) に対して有意であった (図 3)。第 5, 第 7 主成分ともに、1920 年代–40 年代以降変化が小さくなっている。

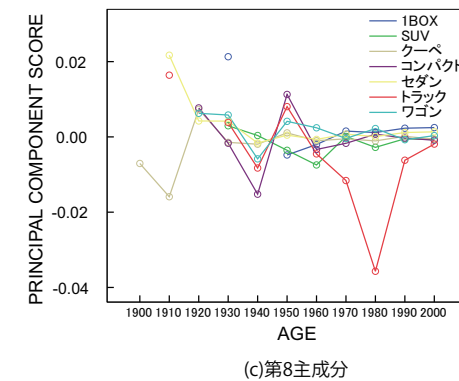
タイプ × 年代の交互作用は第 1, 7, 8 主成分に対して認められた (第 1 主成分: $F(44, 4657) = 1.573, p = .008$; 第 7 主成分: $F(44, 4657) = 1.721, p = .002$; 第 8 主成分: $F(44, 4657) = 1.214, p = .003, p < .05$)。クーペと SUV の形状が 1980 年代以降類似化していることが分かる (図 4)。

また、タイプ × 年代 × メーカー地域の交互作用は第 7 主成分でのみ認められた ($F(51, 4657) = 2.410, p = .016, p < .05$)。この第 7 主成分について地域ごとの得点の



(a) 第1主成分

(b) 第7主成分



(c) 第8主成分

図4 発売年代と主成分得点の関係

Fig. 4 Effect of Release Date on Principal Component Scores for Each Type of Automobile

変化をみると、全体的にはどのタイプの車も年代を経るごとに類似する傾向があり、特に2000年代には主成分得点の地域差は非常に小さくなっていることが分かる(図5)。

4. 考 察

本研究では、楕円フーリエ解析と多変量解析手法を組み合わせることで、乗用車の側面形状やその変遷を決定する要因の検討を行った。その結果、年代が進むにつれて乗用車の形状の変化が小さくなり、また、タイプ間の違いも小さくなっていることがうかがえる。このことは、乗用車のデザインが装飾的なものから効率的、実用的を重視したものに変化してきたことを反映しているかもしれない。また、異なるタイプの性質を併せ持つ乗用車が多く発売されていることも、近年のクーペやセダンとSUVの形状の類似化などから示唆される。

また、これまでも定性的には欧州車、北米車、アジア車の形状デザインが類似してきたことが指摘されていたが、定量的にも側面デザインの地域差は2000年代に入ると非常に小さくなっていることが示された。この結果は、乗用車の生産体制の地域・メーカーを越えた共通化、乗用車デザインの好み世界的に均質化していることを反映している可能性がある。

謝辞 本研究のデータ収集および結果の解釈を行うにあたり、内田敦士氏に多くのご助力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Kuhl, F.P. and Giardina, C.R.: Elliptic Fourier Feature of a Closed Contour, *Computer Graphics and Image Processing*, Vol.18, pp.236-258 (1982).
- 2) Rohlf, F.J. and Archie, J.W.: A Comparison of Fourier Methods for the Description of Wing Shape in Mosquitoes (Diptera: Culicidae), *Systematic Zoology*, Vol.33, pp.302-317 (1984).
- 3) Iwata, H., Nesumi, H., Ninomiya, S., Takano, Y., and Ukai, Y.: The Evaluation of Genotype x Environment Interactions of Citrus Leaf Morphology Using Image Analysis and Elliptic Fourier Descriptors, *Breeding Science*, Vol.52, pp.243-251 (2002).
- 4) Ferrario, V.F., Sforza, C., Serrao, G., Frattini, T., Del Favero, C.: Shape of the Human Corpus Callosum. Elliptic Fourier Analysis on Midsagittal Magnetic Resonance Scans. *Investigative Radiology*. Vol.29, pp.677-681 (1994).
- 5) 伊藤豪俊, 平田達也, 石井直宏: フーリエ記述子を用いた部品の形状認識と処理 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J71-D, No.6, pp.1065-1073 (1988).
- 6) 矢野環: 文化系統学: 歴史を復元する 文化情報学入門 村上征勝編 勉誠出版 pp.36-48 (2006).

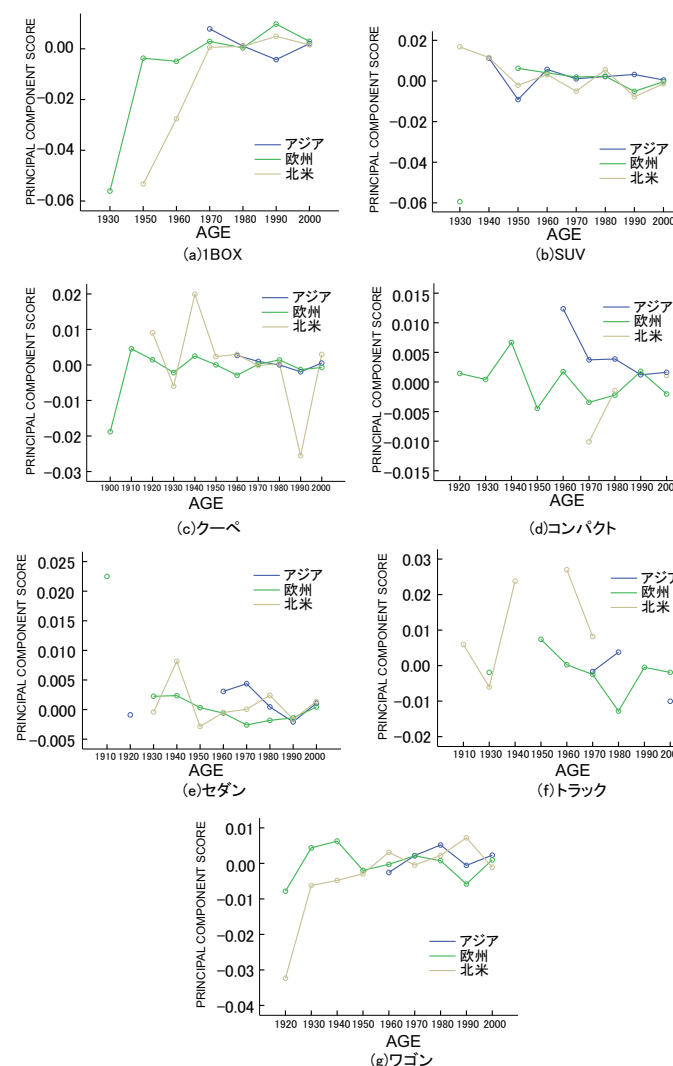


図5 発売年代と主成分得点の関係

Fig. 5 Effect of Release Date on Principal Component Scores for Each Type of Automobile

- 7) The Blueprints Database,
available from (<http://www.the-blueprints.com/blueprints/cars/>)
(accessed 2009-8-2)